

**УНИВЕРИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП**

**ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**

Катедра за наоѓалишта на минерални сировини

Штип

**Магистерски труд**

**ГЕОЛОШКИ И ГЕОХЕМИСКИ  
КАРАКТЕРИСТИКИ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ  
СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ” – КРАТОВСКО**

**2011, Штип**

**УНИВЕРИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП**  
**ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**  
Катедра за наоѓалишта на минерални сировини  
Штип

## **Магистерски труд**

# **ГЕОЛОШКИ И ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ” – КРАТОВСКО**

**Кандидат :**  
**Јулија Ристова, дипл. инж. геолог**

**2011, Штип**



**Ментор :** Проф. д-р Орце Спасовски

**Членови на комисија за оцена и одбрана :**

**Претседател** Проф. д-р Тодор Серафимовски

**Член** Доц. д-р Горан Тасев

**Научно поле:** Геологија , геохемија

**Научна област:** Наоѓалишта на минерални сировини

**Датум на одбрана:** \_\_\_\_\_

**Датум на промоција:** \_\_\_\_\_

## **Резиме**

Долгорочно гледано алтернативните извори на енергија остануваат главни извори на кои ќе се базира понатамошниот техничко, технолошки и општествено економски развој на цивилизацијата. Поради тоа неопходни се обемни истражувања, материјални и кадровски вложувања, со цел да се добијат јасни претстави за перспективноста на поедините алтернативни извори на енергија.

Во групата на алтернативните извори на енергија покрај хидроенергијата на реките, енергијата на морските бранови, енергијата на плимата и осеката, енергијата на ветерот и сончевата енергија спаѓа и геотермалната енергија. Во Територијата на Република Македонија поседува значаен геотермален потенцијал. Досегашниот пристап во истражувањата и истражувањето во последните 30 години кои се вршени главно несистематски, инцидентно или за потребите на локални објекти не ги дадоа сите очекувани резултати. Од тие причини искористувањето овој тип на енергија е мало и ориентирано за оранжериско производство и балнеолошки потреби.

Геотермалните истражувања кои во последните неколку години се реализирани на теренот западно од Кратово (во рамките на геотермалниот систем Здравевци), со релативно скроман обем на истражните работи, постигнати се извонредни резултати, кои можат да послужат како солидна основа за програмирање и проектирање на идни подетални истражувања кои пак за релативно кратко време можат да обезбедат рационално користење на енергијата на хидрогеотермалните флуиди, а вероватно покасно и на неисцрпни петрогеотермални потенцијали од овој простор.

Геотермалниот систем Здравевци тесно е врзан за просторната положба, генезата и еволуцијата на основен структурен облик на овој простор – за Криворечка синклинала, која претставува една вулcano – тектонска депресија, со генерално протегање по правец СЗ – ЈИ.

Минералната вода од проучуваниот простор припаѓа во категорија на натриум-калциум-хидрокарбонатни, сулфатно, сулфидни и ниско кисели јаглородни хипертерми, што е видливо и од процентуалното учество на поедините растворени компоненти во нив (изразени во мг/л).

Пресметаните количини на статички (геолошки) и динамички резерви на геотермалниот флуид, односно од геотермалниот систем Здравевци, само се почетна добра илустрација за можната хидрогеотермална потенцијалност, на овој простор.

Клучни зборови: Геотермален систем, геотермална енергија, термоминерална вода, Здравевци, геотермален флуид, статички и динамички резерви, грејно тело, колектор, изолатор.

## **Summary**

Long term seen, the alternative sources of energy, are remaining main sources on which the further technical, technological and social development of the civilization will be based. Because of that some extensive researches were made, some material and stuff investments, with aim to gain clear assumptions for the perspective of the unique alternative sources of energy.

In the group of the alternative resources of energy beside the hydro energy of the rivers, the energy of the sea waves, the energy of the ebb and flow, the energy of the wind and the solar energy, geothermal energy belongs here too. Republic of Macedonia territory is full of significant geo-thermal potential. The approach in the researches and the analysis in the last 30 years that mostly are done unsystematically, casual, or for the needs of the local objects, did not give the expected results. From this reasons the use of this type of energy is small and oriented for orangery production and balneological needs.

The geothermal researches that are realized in the past several years, on the field west from Kratovo (in the frames of the geothermal system Zdravevci), with relative modest coverage of the researches, are showing remarkable results, that can serve as solid ground for programming and projecting further detailed researches. The same researches can provide in relatively short terms, rational usage of the energy of the hydro-geothermal fluids, and probably later of inexhaustible petro geothermal resources from this area.

The geothermal system Zdravevci is strongly connected with the area condition, the genesis and the evolution of the basic structural shape of this area - for Kriva reka synclinal, that represents one volcano - tectonic depression with general spreading in the direction SZ-JI.

The mineral water from the studied area belongs in the category of natrium-calcium-hydrocarbonates, sulfate, sulfide and low acid carbonic hypotherms, what can be seen from the percentage assistance of the individual tinctures in them (showed in mg/l).

The calculated amounts of static (geological) and dynamic stocks of the geothermal fluid, from geothermal system Zdravevci, are only starting good illustration for the possible hydro geothermal potential of this area.

**Key words:** Geothermal system, geothermal energy. termomineral water, Zdravevci, geothermal fluid, static and dynamic reserves, heating element, insulator.

## СОДРЖИНА

<b>1.0 ВОВЕД</b>	1
<b>2.0 ЦЕЛ НА МАГИСТЕРСКА ТЕЗА</b>	4
<b>3.0 ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊА</b>	5
<b>4.0 ПРИРОДА И ПОЈАВИ НА ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА</b>	6
<b>5.0 ПОТЕКЛО НА ГЕОТЕРМАЛНИТЕ ФЛУИДИ</b>	10
<b>6.0 ПОТЕНЦИЈАЛ И РЕЗЕРВИ НА ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА</b>	12
<b>7.0 ИСКОРИСТЕНОСТ НА ГЕОТЕРМАЛНАТА ЕНЕРГИЈА</b>	14
<b>8.0 ИСТОРИЈАТ НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА</b>	17
<b>9.0 ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ</b>	21
<b>9.1 Прекамбриум и старпалеозоик</b>	21
9.1.1 Албит-епидот и албит - хлоритски шкрилци	22
9.1.2 Амфиболски карпи и метабазити	22
<b>9.2 Креда</b>	31
9.2.1 Песокливи варовници и глиновити лапорци	31
<b>9.3 Терциер</b>	33
9.3.1 Седиментни, вулканогено - седиментни и вулкански карпи	34
9.3.2 Конглометатско ниво $E^1_3$	34
9.3.3 Вулканогено - седиментна серија $E^2_3$	35
9.3.4 Флиш	36
9.3.5 Олигоценски творевини	37
9.3.5.1 Долен олигоцен	38
9.3.5.2 Среден олигоцен	38
9.3.6 Миоценски творевини	38
9.3.7 Плиоценски седименти	39
9.3.8 Квартер	39
9.3.9 Терциерно-квартерни вулкански и субвулкански комплекс на карпи	40
<b>9.4. Плутонски карпи</b>	51
<b>10.0 ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕПОСРЕДНАТА ОКОЛИНА НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ”</b>	52
<b>11.0 ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ</b>	55
<b>12.0 ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ</b>	58
<b>13.0 ПАЛЕОХИДРОГЕОТЕРМАЛНИ И СОВРЕМЕНИ ХИДРОГЕОТЕР-МАЛНИ ПОЈАВИ НА ТЕРЕНОТ</b>	64
<b>14.0 ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ</b>	78
<b>15.0 ПРЕСМЕТКА НА МОЖНИТЕ ТЕМПЕРАТУРИ НА КАРПИТЕ И ФЛУИДИТЕ ВО КОЛЕКТОРОТ</b>	87
<b>16.0 ПРОГНОЗЕН МОДЕЛ</b>	93
<b>16.1 Кровински изолатор</b>	94
<b>16.2 Акумулација на хидрогеотермалните флуиди (колектор)</b>	95

16.3 Подински изолатор.....	97
16.4 Грејни тела односно извор на топлината .....	97
16.5 Зони на прихранување .....	101
16.6 Зони на истекување .....	102
16.7 Терестички топлотен ток.....	104
17.0 ПОТЕКЛО И СТАРОСТ НА ТЕРМОМИНЕРАЛНИТЕ ВОДИ .....	105
18.0 ПРЕСМЕТКА НА РЕЗЕРВИТЕ НА ХИДРОГЕОТЕРМАЛНИТЕ ФЛУИДИ.....	105
19.0 МОЖНОСТИ ЗА КОРИСТЕЊЕ НА ГЕОТЕРМАЛНАТА ЕНЕРГИЈА ОД ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ“ .....	108
20.0 ПЕРСПЕКТИВНОСТ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ“ .....	113
21.0 ЗАКЛУЧОК .....	116
22.0 ЛИТЕРАТУРА .....	119

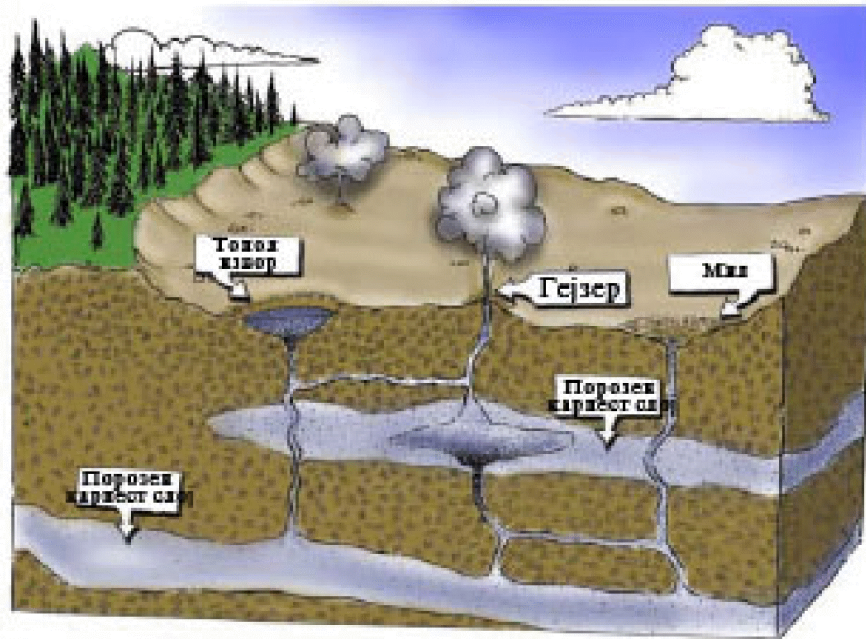
## **1.0 ВОВЕД**

Сé поголемата потреба во енергијата, како и значајни промени кои се случиле и се случуваат на светскиот пазар на енергија, и се поголемото влијание на производството и потрошувачката на енергијата на животната средина, допринеле денес да се посвети посебно внимание на енергетиката. Енергетиката ќе има се поголемо значење бидејќи потребите за енергија постојано растат поради зголемениот број на жители, како и зголеменото ниво и стандард на живеење во целиот свет. Значењето на енергијата за развитокот на општеството и сфаќањето за нејзиното место и улогата во стопанството и општеството во целина, допринеле до насочување на енергетската политика во правец на обезбедување на сигурни и доволни количини на енергија. Новите и обновливи извори, вклучувајќи ја и геотермалната енергија, денес, учествуваат со многу мал процент во светското производство на енергија, иако за многу земји претставуваат значаен потенцијал поради поволните локални услови за користење.

Сега, општо е прифатено да се посвети поголемо внимание на новите и обновливи извори на енергија, бидејќи за многу земји во светот претставуваат голема шанса да се намали потрошувачката на конвенционалните енергетски извори и се зголеми користењето на домашниот енергетски потенцијал.

Во научната и стручната литература се посветува големо внимание на геотермалната енергија, односно изучувањето на природата и генезата на геотермалната енергија.

Земјата претставува огромен топлински "мотор" кој милиони години произведува огромни количества на топлинска енергија. Најголем дел на таа топлинска енергија се наоѓа на длабочината, така да мал дел се манифестира на површината по пат на гејзери, фумароли и термални извори (Слика 1), односно по пат на вулканска ерупција кога од внатрешноста на земјата се излеваат огромни количини на лава чија температура изнесува повеќе од  $800^{\circ}\text{C}$ . Ова под влијание на сончевото зрачење не се забележува. Земјата дава во секој момент на својата површина одредена количина на енергија (околу  $0,06 \text{ W/m}^2$ ), така да имајќи ги во предвид вкупните површини зрачи околу  $8 \cdot 10^{20} \text{ J/год.}$ , односно околу  $20 \cdot 10^9 \text{ t}$  нафта, или двапати повеќе од годишната потрошувачка на енергија во светот. Имајќи го во предвид огромниот потенцијал на геотермалната енергија, логично е таа да се третира како обновлива, без разлика што таа по својот карактер е необновлива, бидејќи земјата неповратно се лади.



Слика 1. Манифестации на геотермална енергија  
Picture 1. Manifestations of geothermal energy

Денес, геотермалната енергија, после хидроенергијата и биомасите како класични обновливи извори, од сите нови и обновливи извори на енергија, претставува најзначаен произведувач на топлинска и електрична енергија во светски размери.

Геотермалните енергетски технологии ја користат топлината на земјата за директна употреба, геотермални пумпи и производство на електрична енергија. Истражувањето на развојот на геотермалните технологии оди во правец на намалување на трошоците и зголемување на нивната употреба. Изворите на геотермална енергија се движат од плитката земја и врелите извори на вода како и врели карпи пронајдени на неколку километри под земјината кора, се до подлабоките слоеви на Земјата во услови на екстремно високи температури и степени карпи наречени магма.

Името „геотермална“ потекнува од двата грчки збора гео - земја и therme – топлина. Значи геотермалната енергија всушност значи *топлина од земјата*.

Директната употреба вклучува греење на згради, одгледување на растенија во стаклени градини, сушење на жито, загревање на вода во рибници, и некои индустриски процеси како пастеризирање на млеко.

Пред повеќе од четири децении, во Република Македонија започнати се геолошки и пратечки истражувања на геотермалната енергија на одреден број на локалитети. Благодарейќи на тоа, а во голема мерка благодарейќи на поволните природни услови, за кратко време откриени се повеќе значајни геотермални полиња и геотермални системи, со

значајни количини на геотермални флуиди, со значајно високи (индикативни) температури.

Овие откритија покажаа, дека во просторите на Република Македонија постојат извонредни природни услови за откривање на нови големи количини на хидрогеотермални флуиди и со знатно повисоки температури.

За жал, во последните петнаесет години, геотермалните истражувања кај нас потполно се прекинати, поради потполниот прекин на финансирањето и пред се поради недоволното познавање на луѓето и стручните структури од областа на енергетиката, за тоа колкави се геотермалните потенцијали кои постојат во нашите терени.

За ниту еден од нашите досега познати геотермални системи, не може да се рече дека е во потполност истражен, ниту латерално, а особено не по длабина.

Од порано се знаело дека во рамките на Кратовско-Злетовската вулканска област постојат веројатно најголеми геотермални потенцијали во Република Македонија. Ваквото тврдење се базира врз следните основи:

- ❖ Геолошки млад, терциерно-квартерен вулканизам, чии постпароксеизмични манифестации и денес се очигледни, во вид на големи количини на загреани хидрогеотермални флуиди;
- ❖ Малата дебелина на Земјината кора на овој простор, засновано на повеќе очигледни факти како што се:
- ❖ Постоење на зголемен терестичен топлински ток ( $>110\text{mW/m}^2$ );
- ❖ Постоење на изразена широка линеаментна зона (Главна раседна линија на Балканскиот Полуостров), која во геолошкото минато повеќе пати е реактивирана, а и денес е на извесен начин “активна” за што сведочат и бројните геотермални појави во пределот на нејзиното простирање;
- ❖ Присуство на геолошки млади гранодиоритски уште неоладени интрузии;
- ❖ Присуство на бројни помлади раседи и реседни зони, нормални или паралелни на “главниот линеамент”, кои денеска често преставуваат “привелегирани патишта” за хидротермалните флуиди кон површината на Земјата;
- ❖ Постоење на голем број на палеохидрогеотермални и современи хидрогеотермални појави, како и широките зони на хидротермално изменети карпи;
- ❖ Постоење на голем број на појави на наоѓалишта на металични и неметалични суровини, кои се генетски и просторно врзани за геотермални манифестации во овој простор;
- ❖ Постоење на релативно големи маси на карбонатитните творби со различна геолошка старост, кои претставуваат значајни колектори во повеќе докажани геотермални системи;



❖ Постоене на хидрогеотермални флуиди, чии хемиски состав укажува на постоење на екстра високите температури во длабоките делови на геотермалните системи, а со тоа и за постоење и на нивните грејни тела со уште повисоки температури. На крајот, општо е познато дека особено јужните делови на Балканскиот Полуостров се наоѓаат во пределот на зоната на субдукцијата помеѓу две големи геотектонски плочи (Евроазиска и Афричка), т.е. во зоната на терциерната магматска автономна активација. Освен споменатите геолошки, тектонски, вулканолошки, геотермиски и пратечки манифестации во рамките на Кратовско-Злетовската вулканска област ќе се осврнеме и на други позитивни истражни претпоставки, а кои исто така укажуваат на огромната геотермална потенцијалност во овој простор, особено во неговите подлабоки делови, но во нивоа кои се достапни во длабинското дупчење.

## **2.0 ЦЕЛ НА МАГИСТЕРСКА ТЕЗА**

Во рамките на истражувачката работа за реализација на магистерската теза под наслов *“Геолошки и геохемиски карактеристики на геотермалниот систем Здаревци”*, основна цел е дефинирање на геолошките структури значајни за локализацијата на геотермалните флуиди и геохемиските карактеристики на водата од споменатиот геотермален систем. Сложените литостратиграфски геоструктурни односи, чие натамошно подетално истражување ќе бара макотрпна и упорна работа, но и чие разјаснување може да има големо значење за откривање на огромни резерви, како на хидротермална така и на петрогеотермална енергија.

Утврдување на граничните елементи во геотермалниот систем потребни за пресметки на геотермалниот потенцијал и резервите на геотермалната енергија, дефинирање подлогите за изработка на оценката на геотермалниот ресурс, пресметка на геотермалниот потенцијал и резервите геотермална енергија во геотермалниот систем, проучување на проблемите со користењето на геотермалната енергија и нејзините перспективи.

Во основните цели би ги воврстеле и појаснувањата на врската на геотермалните флуиди со грејните тела и структурно-тектонските процеси кои довеле до дефинитивното вообличување на геопросторите. За приближно решавање на вака поставените цели, освен неколку годишното теренско истражување, неопходни се и одреден број на лабораториски испитувања, при што се користени одреден број на реномирани институции во земјата и нејзината блиска околина.

## **3.0 ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊА**

Бидејќи како предмет на истражување се терени со сложена геолошка еволуција неопходна е примена на комплексна методологија на теренски и современи лабораториски методи со кои би се добиле поегзатни податоци за пореална интерпретација на поставената цел. За остварување на поставената цел освен теренските истражувања користени се лаборатории во земјата и нејзината блиска околина. На просторот предвиден за прв пат се направени обиди, еден огромен контингент од геолошки и негеолошки податоци, собрани во подолг временски период, со истражувања водени по различни критериуми, да се анализираат и синтетизираат по ист критериум.

Основната методологија на изработка на оваа магистерска теза се состоеше од три фази. Првата фаза беше наменска анализа на резултатите од сите релевантни видови геолошки истражувања. Втората фаза беше изработка на подлоги, по неопходни параметри, потребни за оценката на геотермалните ресурси, а третата фаза беше самата оценка на геотермалните ресурси и пресметка на резервите на геотермална енергија.

Во изработката на оваа магистерска теза се користени геолошки и негеолошки методи. Од геолошките методи применети се: анализа и синтеза на претходните геолошки истражувања и тоа: анализа и синтеза на поранешните регионално геолошки истражувања со посебен осврт на тектонските истражувања, геотектонските концепти и распространувањето на формациите со карбонатен состав.

Од негеолошките методи беа применети: анализа и синтеза на податоци од хемиски анализи на термалните води со посебно внимание врз постапката на земање на мострата и применетите аналитички методи, анализа и синтеза на резултатите од температурните мерења во изведените дупнатини.

Применети се компјутерски програми за анализа на хемискиот состав на термалните води, *Watch 3*; за одредување на состојбата со минералната рамнотежа во примарниот резервоар, *Leglib*; температурите на кои се постигнува рамнотежа со поедини компоненти кои ја контролираат рамнотежата, *Legtemp*; и *Geoterm* за пресметка на хемиските геотермометри.

За пресметка на геотермалниот потенцијал и резервите на геотермална енергија користени се волуменската метода и методата на површински топлински ток во хидротермалните системи и методата на магматски биланс во литогеотермалните ресурси.

За пресметка на геотермалниот потенцијал и резервите на геотермална енергија во поедини геотермални системи користени се повеќе или помалку сложени математички операции.

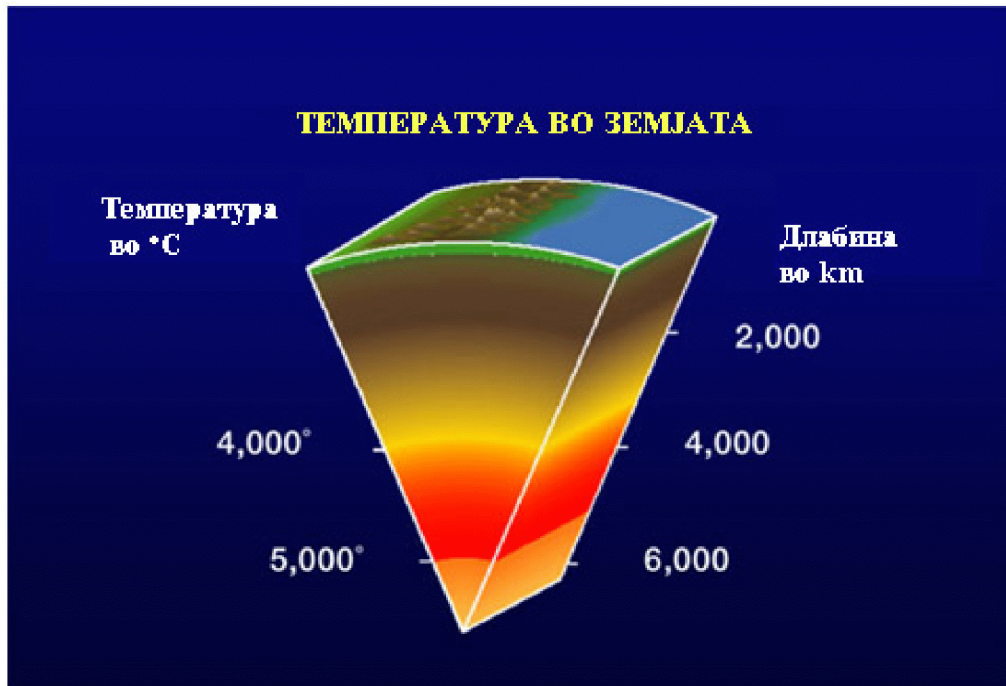
#### **4.0 ПРИРОДА И ПОЈАВИ НА ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА**

Основен параметар кој укажува на потенцијалот на геотермалната енергија на некоја територија е топлинското поле, кое ја одредува распределбата на температурата и топлинскиот проток (флукс) во горните делови на земјината кора до длабочина каде може да се мери и набљудува, во најголема мера зависи од изворот на топлина во самата кора и од топлината која се пренесува од земјината внатрешност низ земјината кора.

Основни извори на топлина во земјината кора и земјата во целина се внатрешните (планетарни) и надворешните (космички) процеси. Внатрешните процеси, следени со одвојување на топлината, опфаќаат распаѓање на радиоактивни елементи, триење во земјината кора покрај гравитациските сили на сонцето и месечината, релаксација при еластичните оптоварувања, гравитациона диференцијација, кристализациски и полиморфолошки процеси, прегрупирање на електронските обвивки на атомот, топлина од земјотреси, вулканизам и тектонски движења, фазни премини и хемиски реакции. Во надворешните извори на топлина припаѓаат: извори во вселената (космосот) чија енергија со зрачење или со помош на неутриното, космичката прашина и метеоритите кои доаѓаат до земјината површина и чија енергија се пренесува во внатрешноста.

Од сите внатрешни извори на топлина, најголем број на истражувачи и научници претпоставуваат, дека основен извор е распаѓањето на радиоактивните елементи кои се наоѓаат во земјината кора. Топлината, главно се создава од долготрајното распаѓање на радиоактивните елементи и изотопи на Ураниумот ( $U^{232}$  и  $U^{235}$ ), Ториумот ( $Th^{232}$ ) и Калиумот ( $K^{40}$ ) и ослободувањето на огромни количества на топлотна и радиоактивна енергија длабоко во Земјината внатрешност и нивното интерактивно дејство со средините во кои се наоѓаат и процесите кои ги придружуваат и предизвикуваат.

Непобитен факт е дека Земјата е во постојано движење и од самото нејзино геолошко создавање е во фаза на постојано ладење. Температурата на мантијата (астеносферата) постојано се намалува, но релативно незначително, т.е. температурата е намалена за околу 300-400 °C во текот на целокупното свое постоење (од 5 милијарди години), се уште имајќи температури од огромни 4000°C во својата внатрешност (Слика 2).



Слика 2. Температура на Земјата во зависност од длабочината  
 Picture 2. The temperature of the Earth depending of the depth

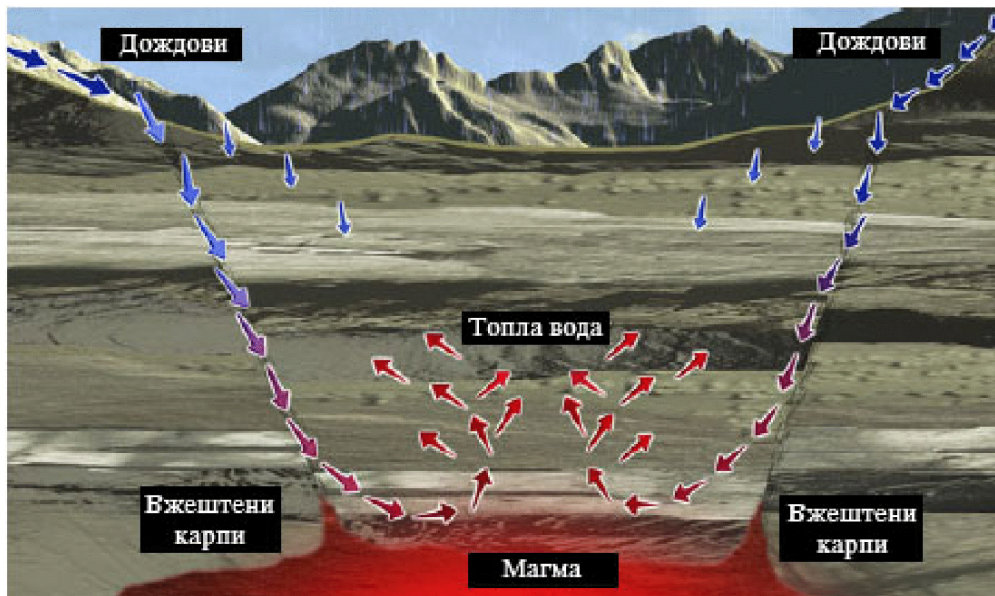
Содржината и распределбата на радиоактивните елементи се оценуваат според податоците добиени со мерење во минералите и карпите во горните делови на земјината кора, метеоритите, како и врз база на пресметката на количината на топлина која се создава внатре во земјата. На основа на тие пресметки и експериментални податоци од повеќе истражувачи, содржината на радиоактивните елементи се намалува со зголемување на длабочината во внатрешноста на земјата.

Друг голем внатрешен извор на диференцијација на тешки и полесни честички е под дејство на гравитационите сили. Под дејството на гравитационата диференцијација се доаѓа до раслојување на еднородната земја на густ централен дел - јадро и полесен - земјина кора, при што е ослободено од  $1.5 \cdot 10^{31}$  до  $2 \cdot 10^{31}$  J енергија или  $5 \cdot 10^{31}$  J/год., што е сосема споредливо со енергијата на радиоактивното распаѓање. Силата на топлинската енергија настаната по пат на радиоактивно распаѓање и гравитациони процеси изнесува  $35 \cdot 10^{12}$  што овозможува со одвојување од површината на земјата топлински флукс од околу  $0,069 \text{ W/m}^2$ .

Намалувањето на брзината на вртење на земјата како резултат на плимата на земјината површина и триењето при меѓусебното дигање и спуштање на блоковите и деловите на обвивката на земјината кора под дејство на привлечните сили на сонцето и месечината ослободува тоplotен флукс  $0,0105 \text{ W/m}^2$ . До сега се мислеше дека овој извор на топлина ослободува 10 до 30 % топлински радиоактивно распаѓање,

иако најголем дел на таа енергија се ослободува во морињата и океаните. Енергијата на триење која произлегува од земјината плима може да има основно значење за дисипација во тенкиот вискозен слој кој се наоѓа на длабочина од околу 100 километри и кој се карактеризира со намалување на брзината на распротранување на сеизмичките бранови каде е можно менување и колебање на температурата за околу 100 степени.

Топлината покрај вулканската активност, односно од магмтската интрузија во невулканските области, со оглед на локалниот карактер е многу влијателен фактор на формирање на топлинско поле. Во магматските процеси, кои не доведуваат до појави на вулкани или создавање на површински интрузии по конвективен пат се огромни количини на магла со што и топлината (бидејќи топлината на магмата се движи од 850 до 1250 степени целиусови), се концентрираат во горните делови на земјината кора (Слика 3.).



Слика 3. Создавање на геотермална енергија  
Picture 3. Creation of geothermal energy

Изворите на топлина од тектонските движења и земјотреси сеуште се недоволно истражени, пресметките покажуваат дека постои нивно значајно влијание при создавањето на геотермалните аномалии бидејќи нивните локации се поклопуваат со подрачјата на интензивна сеизмичка активност. Топлината при тектонските движења се создава врз база на триењето помеѓу поедините блокови на карпи долж зоната на распаѓање, лизгање или надвлекување.

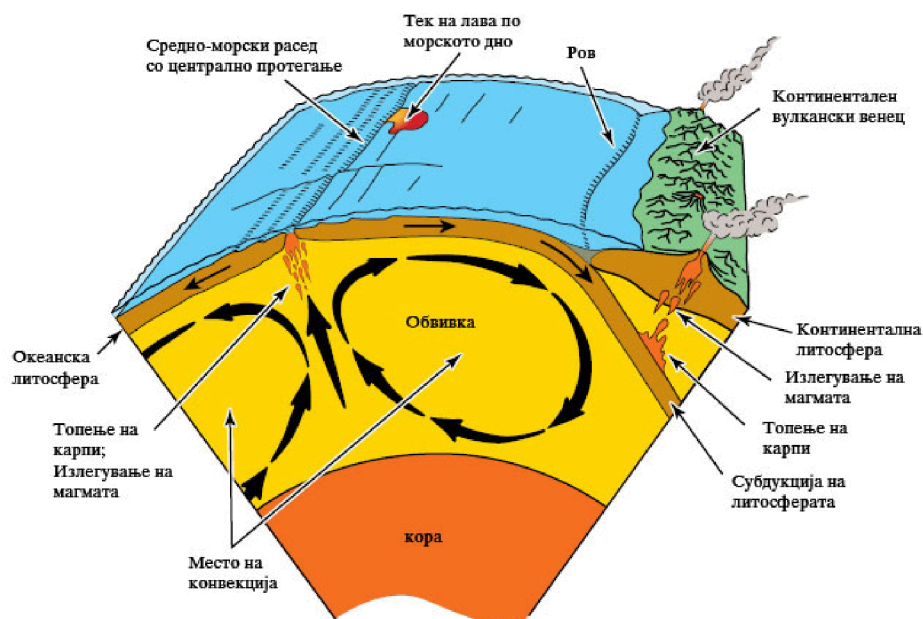
Од надворешните извори најголемо значење има сончевото зрачење. Секоја година на  $1 \text{ m}^2$  површина на земјата се зрачи просечно  $6,9 \cdot 10^9 \text{ J}$  топлина.  $2/3$  од сончевото зрачење се апсорбира од површината на



земјата, а 1/3 од атмосферата. Од апсорбираната количина земјата губи 35.7 % по пат на доготрајно зрачење, 10,8 % се оддава во атмосферата со конвективни топлотни струења и 53,5 % се троши на испарување на водата, при што повеќето е во морињата и океаните, а помалку на копно. Релативно малото загревање на земјината површина настанува под дејство на паѓањето на метеоритите. Намалувањето на брзината на движење поврзано со промената на моментот на инерција при зголемување на волуменот и масата на земјата за сметка на масата на метеоритот. Многу поголемо влијание на земјината температура има адијабатското згуснување кое настанува како последица на судар на метеоритите со земјата, познато од историјата на земјата.

Останатите извори од кои некои се од вселената (енергија на дејството на неутриното од сонцето, гравитационата енергија на честичките од космичката прашина) денес се недоволно испитани или се со релативно помало значење (хемиска реакција, литификациони процеси, гравитација).

Основно губење на топлината во внатрешноста на земјата се прави со спроведување на топлината, вулканската активност, истекувањето на термалната вода и пареа (Слика 4).



**Слика 4.** Спроведување на топлината низ земјата  
**Picture 4.** Conducting the energy trough the Earth

Во основа распространувањето на топлината се постигнува по пат на спроведување (кондукција) и преоѓање (конвекција).

Во природата има два основни типа на конвективни геотермални системи:

- ❖ системи со прегреана или врела термоминерална вода (еднофазна или двофазна);
- ❖ системи со прегреана или сува пареа (еднофазен систем).

Подрачјата со прегреана пареа или сува се релативно ретки и познати со векови. Присутните подрачја овозможуваат производство на термоминерална вода, (со или без влажна пареа на површината), добиена по пат на природни извори или дупнатини.

## **5.0 ПОТЕКЛО НА ГЕОТЕРМАЛНИТЕ ФЛУИДИ**

Во педесетите години на дваесетиот век со изотопски испитувања утврдено е дека потеклото на најголем број на води на геотермалните подрачја е метеорско, помал дел припаѓа на магматски и јувенилни води. Во шеесетите години е утврден нов пристап кој го нагласува значењето на хемискиот состав на геотермалните флуиди за решавањето на проблемот на потеклото, генезата и идното однесување на системите. Почнало да преовладува мислењето дека геотермалните системи (извори на топлината, колекторски карпи и флуиди) мора да се анализираат не само со оглед на потеклото на топлината и хемиските елементи во системот, помеѓу компонентите во системот се одвиваат урамнотежени реакции со големи брзини поради високите температури во наоѓалиштето. Ако важи наведениот пристап, хемијата на геотермалните флуиди не се интерпретира во смислата на потеклото, туку хемискиот состав покажува состојба по воспоставувањето на последната рамнотежа помеѓу флуидот и цврстата фаза на набљудуваниот систем.

Еден од најважните доприноси за распознавање на геотермалните системи е препознавањето на метеорското потекло на геотермалните води.

Познавањето на физичко - хемиските особини на геотермалните води во наоѓалиштата каде што течноста е доминантна фаза е важно. За жал, тоа е многу тешко поради непристапните средини, високите температури, корозноста или таложењето во канали на бушотините проследено со промена на притисокот и температурата.

Геотермалните води меѓусебно се разликуваат по хемискиот состав. Концентрацијата на хемиските компоненти зависи од географските области, геолошките средини и типот на аналитичка анализа. Пратењето на содржината на присутните елементи и соединенија во функцијата на длабочината дава податоци за квалитетот на водата, содржината на метанот и можноста за корозија, таложење и зачепување на каналите во кои е водата.

White геотермалните води ги поделил во неколку типови:

- *Натриумски - хлориди*
- *Кисели сулфатни - хлориди*
- *Кисели сулфати*
- *Калциум/натриумско - хидрокарбонатен тип.*

#### *Води од натриум - хлоридски тип*

Водите од овој тип се најзастапени. pH вредноста на водата на дното е скоро неутрална. При движењето кон површината, pH расте, затоа што се издвојува пареа и Si. Хлоридниот анјон е основен, а основен катјон натриумовиот катјон. За оваа група е карактеристична широката распределба на концентрацијата на основните јони.

#### *Води од кисело сулфатно-хлориден тип*

Водите од овој тип се релативно ретки. Киселоста доаѓа од оксидацијата на сулфидот во бисулфид. При движењето на водата кон површината и нејзиното ладење, pH се поместува од неутрално кон кисело, заради промената на константата на дисоцијација на бисулфидот со температурата.

#### *Кисели сулфатни води*

Киселите сулфатни води се карактеристични за пределите во кои пареата се издвојува од лежиштето и се кондензира на површината.  $H_2S$  што е присутно во пареата оксидира при контактот со воздухот или на него делуваат бактериите, при што настанува  $H_2SO_4$ . Водите имаат многу мала содржина на хлорид и високи и променливи вредности на катјони добиени од реакцијата на киселината и карпата. Изворите кои го имаат овој тип на вода обично имаат мал издан и имаат присуство на суспендиран глиновит материјал.

#### *Води од калциско/натриумов-хидрокарбонатен тип*

Водите од овој тип најчесто се јавуваат како ниско температурни извори на наоѓалиштата на травертин. Основни катјони се натриумовите или калциумовите, а анјони се хидрокарбонатните. Ниските температури ја лимитираат економската исплатливост на користење на водата од овој тип за производство на електрична енергија. Најчесто се користи за терапија. Во користењето може да дојде до талоежење на калциум карбонат.

За адекватно користење на геотермалните извори потребно е, меѓу другото периодично пратење на хемиските состави на флуидите во дупнатините. Хемискиот состав на водата може да даде бројни информации за карактерот на водата во слоевите и локација на водата со најголем проток. Особините на флуидите овозможуваат проучување



на термодинамичките и хемиските процеси кои се одвиваат во наоѓалиштето.

## **6.0 ПОТЕНЦИЈАЛ И РЕЗЕРВИ НА ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА**

Одредувањето на потенцијалот, ресурсите и резервите на геотермална енергија претставува многу сложен проблем поради специфичноста на самата геотермална енергија и можноста на нивното искористување.

Потенцијалот ја претставува вкупната геотермална енергија во земјината кора до некоја недефинирана длабочина. Денес изведени се дупчења кои надминуваат длабочини од околу 10000 m, така да отприлика може да се усвои дека секоја длабочина под неа е гранична. Со самото тоа дел на потенцијалот е достапен на користење во функција на сегашниот степен на развојната технологија на длабинско дупчење, која континуирано се развива и ја зголемува длабочината на дупчењето.

Меѓутоа во достапниот дел не може да се искористи, при денешната технологија на користење, целокупната геотермална енергија туку само одреден нејзин дел. Преостанатиот дел од различни технолошки и економски причини не може да се искористи.

Со други зборови под терминот ресурси се подразбира оној дел на геотермална енергија кој е откриен или сеуште е неоткриен, но има индикации дека постои, и кој може технички при сегашните нивоа на техника и технологија да се искористи.

При дефинирањето на потенцијалот, односно резервите на геотермална енергија во светот треба да се води сметка дека оваа енергетска гранка сеуште не е доволно истражена така да постојат различни проценки на тој потенцијал, имајќи ги во предвид периодот кога тие процени се извршени.

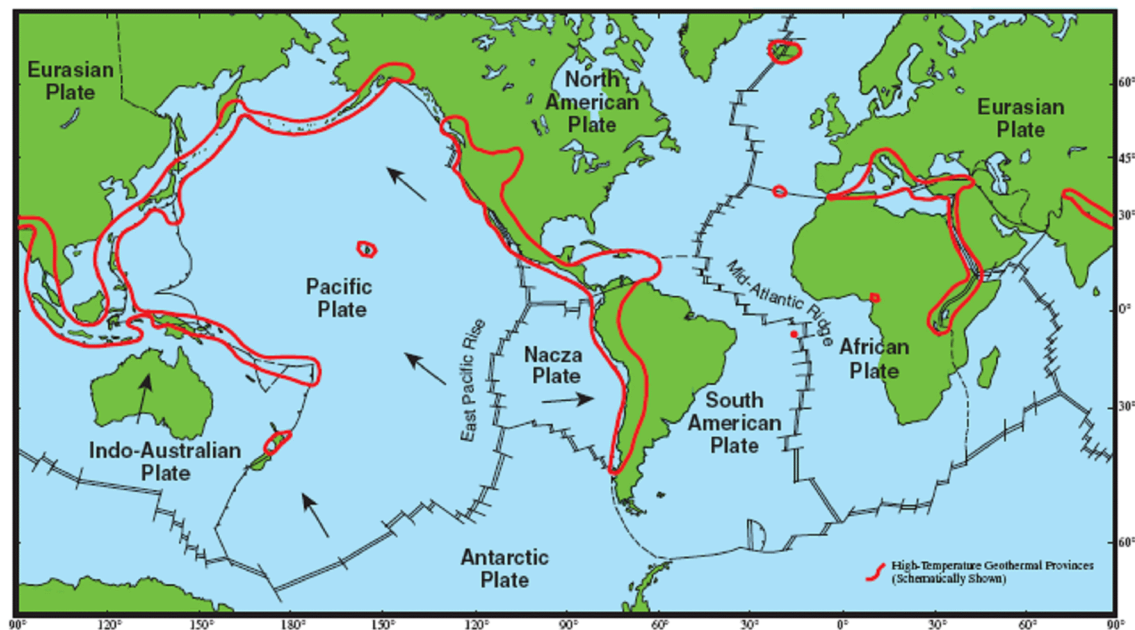
Периферните делови на тектонските плочи се најподложни на дробење, геолошки промени и интензивни сеизмички и вулкански активности, поради постојаните конвекциони движења на врелите магми кон површината на Земјата.

На слика 5 се прикажани тектонските плочи, нивните рифтни зони, зоните на субдукција и колизија, и најважните геотермални области во светот, лоцирани по периферијата на самите плочи.

Стрелките ги покажуваат правците на движење на плочите, во правец кон субдукциските зони.

За нашата земја новите и обновливи извори имаат посебно значење затоа што располагаме со многу поволни услови за нивно искористување со оглед на расположливиот потенцијал, посебно на геотермалната енергија. Геотермалната потенцијалност на нашата земја јасно покажува постоење на голем број бањи и природни извори со температура на водата поголема од 18°C која по своите карактеристики: температура, хемиски состав, издашност, место и начин на истекување, како и на

основа на геолошкиот состав, хидрогеолошки и општи геотермални услови на теренот нивната околина покажува дека на подрачјето на нашата земја постојат значајни наоѓалишта и извори на геотермална енергија, односно оваа територија располага со значајни потенцијали на геотермална енергија. Меѓутоа, геотермалната истраженост на нашата земја е сеуште многу ниска, па затоа не може да се зборува за нејзината вистинска геотермална потенцијалност, само таа може да се проценува со детални истражувања, во прв ред со длабоко истражно бушење, да се потврди.



**Слика 5.** Најперспективни подрачја на геотермална енергија во светот (Георгиева, 1995)

**Picture 5.** Most perspective areas of geothermal energy in the world (Georgieva, 1995)

Во нашата земја геотермалната енергија го нема она значење кое би требало да го има со оглед на нејзината потенцијалност. Во нашата земја геотермалната енергија се користи во земјоделството, домаќинството, балнеологијата и комуналната енергетика (административни згради, училишта и факултети, детски градинки, трговија, бањско-рекреативни комплекси, рекреативно балнеолошки потреби), индустриски потреби (сушење, испарување, дестилација и др.), во прв ред припрема на топла вода и останати ниско температурни потреби. Често се поставува прашањето колку сигурни и долготрајни може да се третираат геотермалните енергии, односно дали тие може да се третираат како обновлив вид на енергија. Одговор на тоа прашање може да даде времето и интензитетот на користење. Познато е, врз основа на постојните записи, дека постојните термоминерални извори во

Италија постојат веќе илјада години и при интензивна експлоатација цел век нема поголеми промени во капацитетот на притисокот кај дупнатините. Слична ситуација има во областа на Гејзира во САД (Сл. 6) каде денес се наоѓаат најголемите геоелектрани и каде покрај интензивното користење не се забележуваат промени на природните гејзери.



**Слика 6.** Најголемиот светски единичен извор (Гејзира во Калифорнија) на геотермална енергија

**Picture 6.** The biggest world unitary spring (Gejzira in California) of geothermal energy

## 7.0 ИСКОРИСТЕНОСТ НА ГЕОТЕРМАЛНАТА ЕНЕРГИЈА

По Втората Светска Војна, многу држави во светот биле привлечени од Геотермалната енергија, како алтернативен извор на енергија, поради поголемата економска конкурентност во споредба со другите видови на енергија. Така што значително се зголемило експлоатирањето на геотермалната енергија за добивање на електрична енергија од овој нов вид на извор на топлина, но и во другите индустриски гранки и области од секојдневниот живот на луѓето. Во Табела 1 е прикажана искористеноста на геотермалната енергија за добивање на електрична енергија во неколку високоразвиени држави и во некои земји во развој во последните неколку години.

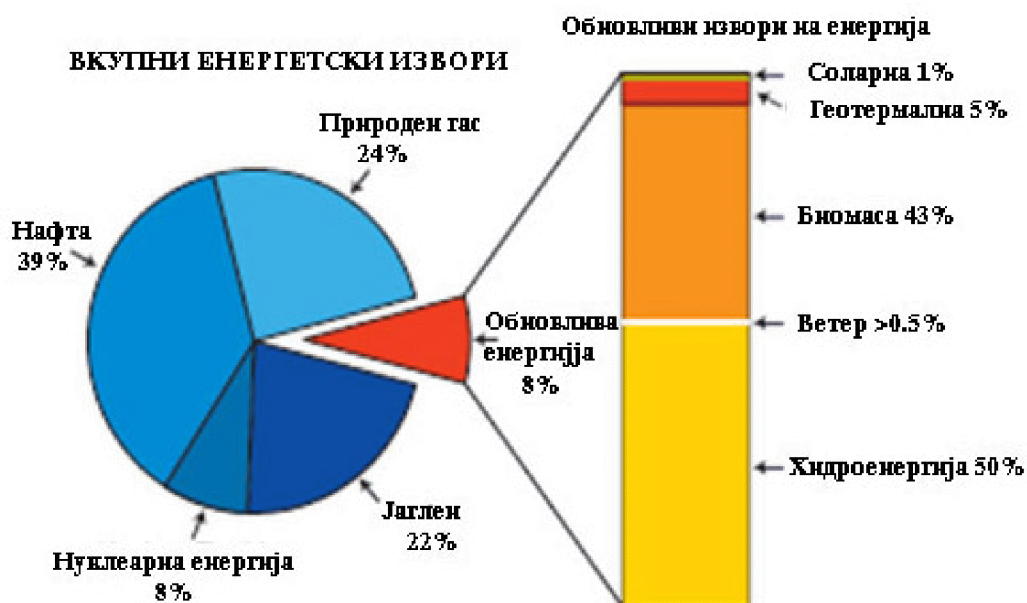
Зголемувањето на искористеноста на геотермалната енергија во земјите во развој значително се зголемува, така да во 1995 год. била 38%, а во 2000 год. се зголемува на 47%.

**Табела 1.** Инсталирани геотермални капацитети во светот во 1995, 2000 и во 2003 год. Според (Hutter, 2001)

**Table 1.** Instaled geothermal capacities in the world in 1995, 2000 and in 2003, according (Hutter, 2001)

Држава	1995 (MW <sub>e</sub> )	2000 (MW <sub>e</sub> )	1995-2000 (зголемување во MW <sub>e</sub> )	% зголемување (1995-2000)	2003 (MW <sub>e</sub> )
Кина	28.78	29.17	0.39	1.35	28.18
Коста Рика	55	142.5	87.5	159	162.5
Ел Салвадор	105	161	56	53.3	161
Исланд	50	170	120	240	200
Индонезија	309.75	589.5	279.75	90.3	807
Италија	631.7	785	153.3	24.3	790.5
Јапонија	413.7	546.9	133.2	32.2	560.9
Кенија	45	45	-	-	121
Мексико	753	755	2	0.3	953
Нов Зеланд	286	437	151	52.8	421.3
Никарагва	70	70	-	-	77.5
Филипините	1227	1909	682	55.8	1931
Русија	11	23	12	109	73
УСА	2816.7	2228	-	-	2020
Тотал	6833.35	7972.5	1728.54	16.7	8402.21

На слика 7 е даден приказ на учеството на обновливите извори на енергија споредено со фосилните необновливи извори на енергија



**Слика 7.** Учеството на обновливите и фосилните необновливи извори на енергија

**Picture 7.** Participation of the generated and focile nongenerated sources of energy

Од приложената слика се гледа дека од фосилните извори нафтата е најзначајниот извор на енергија, потоа следуваат природниот гас, јагленот и нуклеарната енергија. Од обновливите извори на енергија најнајчесто извор се водените ресурси, потоа следуваат биомасите а дури на трето место е геотермалната енергија.

Во Табела 2 е дадена не-електричната употреба на геотермалната енергија во светот во 2000 год. Инсталираната термална моќност (во MWt) и искористеноста на енергијата (во TJ/год). Според (Lund and Freeston, 2001).

**Табела 2.** Неелектрична употреба на геотермалната енергија  
**Table 2.** Nonelectric use of geothermal energy

Држава	Моќност (MW <sub>t</sub> )	Енергија (TJ/год)
Бугарија	107.2	1637
Канада	377.6	1023
Кина	2282	37 908
Хрватска	113.9	555
Франција	326	4895
Германија	397	1568
Грција	57.1	385
Исланд	1469	20170
Италија	325.8	3774
Јапонија	1167	26933
Македонија	81.2	510
Мексико	164.2	3919
Нов Зеланд	307.9	7081
Русија	308.2	6144
Србија	80	2375
Словенија	42	705
Швајцарија	547.3	2386
Турција	820	15756
УСА	3766	20302

Од приложената табела се гледа дека најголема инсталирана моќ имаат САД и Кина, додека најголема искористеност имаат Кина, Јапонија и САД.



## 8.0 ИСТОРИЈАТ НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА

Први позначајни податоци за вулканогениот простор западно од Кратово, ги дал Цвијиќ, при свои изучувања во Кратовско - Злетовската вулканска област, во почетокот на овој век. Во таа прилика, во тоа време, тој констатира, покрај останатото, дека во Кратовско - Злетовската вулканска област има еруптивни карпи од преднеогена старост, потоа неогени изливања и постнеогени вулкански продукти, дека главните ерупции започнале и пред олиго - миоцен, но и дека вулканските процеси биле најинтензивни при крајот на олигоцен (Сл. 8).

На овој дел од теренот, Цвијиќ, покрај останатото, запазил во сливот на реката Повишница остатоци од еден неоген кратер, кој го нарекува Туралевски Кратер, чии поствулкански манифестации (солфаторско-фумаролски), биле интензивни и во квартал, односно дека извесни наслаги на сулфур сведочат дека: внатрешноста и дното на кратерот од неодамна престанале да бидат активни. Покрај тоа, тој смета дека: Како последен траг на некогашната вулканска активност, треба да се сметаат кисели и железовити извори на Табачка река и Повишница.



(Photo Ristova 2009)

**Слика 8.** Панорамска снимка на геотермалниот систем Здравевци

**Picture 8.** Panoramic view of geothermal system Zdravetsi

Во периодот од 1972-1974 година, Геоинститут од Белград во пределот на Туралевскиот Кратер, на локалитетот Боровиќ, вршел истражувања на полиметалична минерализација. Во таа прилика, во една од четирите

истражни дупнатини, крај месноста Жлебиште, надупчена е и термална вода со самоизлив од 1 l/s и температура од 22,5°C.

При хидрогеолошките истражувања на Злетовското – оловно – цинково наоѓалиште и неговата околина, а во врска со појавата на термоминералната вода, која е таму со длабинско истражно дупчење во јама, таму е откриена 1972 година, Филиповиќ и Димитријевиќ, вршеле и упоредни истражувања на хемизмот, гасниот состав и физичките карактеристики и на други термоминерални води во СИ Македонија, а меѓу нив и од Гоцева Чешма, недалеку од Кратово. Врз основа на хемискиот состав, тие ова вода ја сврстале во хидрокарбонатно-натриумска, а врз основа на температурата (19°C) на границата помеѓу обична и термална вода, која е минерализирана (2,9 g/l), а содржи и извесна количина на CO<sub>2</sub> (1,4 g/l). Во таа прилика тие укажале на реалната можност за откривање на високотемпературни води (и преку 60°C), во просторите на Кратовско-Злетовската вулканска област.

Томиќ, во источниот дел на овој терен (помеѓу планината Пластица и Злетовска Река), вршел истражување на пукнатински тип на издани во овој дел на Кратовско - Злетовската вулканска област, и во таа прилика докажал, покрај останатото, дека вкупната минимална ефективна порозност на карпите од овој простор изнесува 0,65%, но и дека е нешто поголема и во границите на порозноста на еруптивите во геосинклинални услови.

Во својата студија - дисертација: Хидрогеологија на минералните води на територијата на СРМ, Котевски дава, покрај останатото, и основни податоци за минералната вода на каптираниот извор кај с. Железница (Гоцева Чешма).

Врз основа на овие и некои други податоци, минералната вода Гоцева Чешма, забележана е и во Карта на минерални и термоминерални води на Југославија 1 : 500. 000 (Изд. 1983 година Белград), под реден број 460.

Поаѓајќи од општите геолошки сознанија за овој дел на Кратовско-Злетовската вулканска област, кои се прибрани при различни други парцијални истражувања на повеќе автори или екипи, врз основа на повеќегодишни теренски опсервации, воочени се поголем број на позитивни истражни претпоставки (индикативни елементи), кои укажуваат на реалната можност за откривање на значајни количини на термоминерални води на овој простор.

Споменатите индикативни елементи, односно позитивни геолошки, геофизички, хидрогеолошки, геоморфолошки и структуролошки истражни претпоставки, беа одлучувачки да се врз основа на претходно изработените програми во 1988 година е пристапено кон систематски геотермални, односно хидрогеотермални истражувања. Досегашните истражувања реализирани се во тесна соработка со Геолошки Завод-

Скопје, со соодветни лаборатории на РГФ - Белград институт за рехабилитација од Белград.

Во првата фаза на геотермалните истражувања на овој простор, извршени се хидрогеотермални картирања на овој простор на површината од 120 km<sup>2</sup> и изработена прелиминарна структурно-тектонска и хидрогеолошка карта 1: 25.000. На поголем број на примероци од карпи од површината на теренот и од јадрата на истражните дупнатини, испитана е нивната топлотна проводливост, изработени се 15 физичко-хемиски анализи од површинските води и кладенци и на водите кои се надупчени со истражно дупчење, 5 анализи на слободни гасови и поголем број на петрографски препарати.

Едновременно, во коритото на Кратовска Река, во непосредна близина на каптираниот извор Гоцева Чешма, издупчени се три плитки истражни дупнатини, со длабочина од околу 100 m, во кои е измерена температура на средината од сса 19°C (максимална 19,6°C), а со геотермален градиент од 3,23°C/33 m.

Посебно интересни податоци, добиени се во двете плитки истражни дупнатини, кои се издупчени во коритото на реката Повишница, во внатрешниот дел на Туралевскиот Кратер. Веќе во првата дупнатина (ZD-1 -70,0 m), која е лоцирана на една раседна зона и во близината на некогашен (фосилен) извор, надупчена е термоминерална вода со самоизлив (сса 2 l/s), со значаен геопритисок, со температура од 30,8°C и со значителна количина на CO<sub>2</sub> (повеќе од четвртината на вкупен волумен: вода-гас) слика 9. Хемиската анализа на ова вода покажа 2.330 mg/l на сув остаток.

Во другата плитка истражна дупнатина, која е дупчена на околу 1 km источно од ова, исто така во коритото на реката Повишница, а непосредно до изворот Вруќа Вода, не е надупчена вода, поради тоа што дупнатината дупчена по целата длабина низ свеж пробој на млади андезити, во кои нема пукнатини низ кои би водата можела да циркулира. Измерената температура на средината во ова истражна дупнатина (ZD-2 -107,0 m<sup>2</sup>), изнесува 30,8° C, што значи дека геотермалниот градиент изнесува овде само 1,41°C/33 m (Слика 10).

Прелиминарните испитувања на примероци од карпи од јадрото на дупнатините ZD -1 и ZD -2, покажаа висока топлотна проводливост, што се толкува (од страна на РГФ - Белград), како последица на присуството на силификација и други измени, кои довеле до елиминација на поедините минерали и до зголемување на хомогеноста на минералите.

За потврдување, или корегирање на претходно споменатите општи геолошки истражни претпоставки за глобалната геолошка градба на Туралевскиот Кратер и поблиската околина, од страна на геофизичката екипа на Геолошки завод - Скопје, со летото 1989 година, извршени се први геоелектрични испитувања од ограничен обем, со примена на метода на специфичен електричен отпор - вертикално геоелектрично



сондирање. Притоа, мерењата се вршени и долж еден подолг геоелектричен профил (13,2 km), одеше по коритото на реката Повишница, а и три пократки профила (500 - 600 m), на кои се измерени 24 геоелектрични сонди, со постигнат максимален електричен дофат од  $AB/2 - 1.500\text{ m}$ .

За потврдување, или корегирање, претходните општи геолошки истражни претпоставки за глобалната геолошка грдба на Туралевскиот Кратер и околината, користени се и други индиректни методи на истражување, како што се: можната аналогија со веќе откриените геотермални полиња во Македонија и Јужна Србија или други локалитети кај нас или во светот, податоци од извршените регионални геофизички испитувања (гравиметрија, магнетизам), прогнозни податоци за терестричниот топлотен тек и др.

Меѓутоа, податоците од споменатите геофизички испитувања, сепак дале најдрагоцени податоци за дополнување на порано оценетите општи геолошки прилики во овој терен. Имено, во геофизичките испитувања, потребно е можноста за постоење на карбонатната литолошка средина во фундаментот на вулканитите, а која би можела да претставува значаен колектор за термоминералните води во овие простори, за чии можни димензии (посебно за хоризонтална), за сега сеуште не можеме со сигурност да зборуваме. Меѓу повеќе значајни податоци, како што се оние за поблиско објаснување за литолошките и тектонски карактеристики на овој терен, геоелектричните испитувања укажаа на возможната длабина на која се наоѓа претпоставениот Карбонатен фундамент (и колектор), кој е прогнозиран на длабина од 700 – 1.000 метри под површината на теренот. Оваа прогноза се заснова врз битните разлики на електричната отпорност на субвулканскиот, односно вулканогено – седиментниот комплекс на карпите (најчесто од 10-150 $\Omega\text{m}$ ) и комплексот на еоценско - олигоценските творевини под него (најчесто 500 – 2. 400  $\Omega\text{m}$ ).

Врз основа на воочената согласност на податоците за општата геолошка градба на овој терен, на хидрогеолошките манифестации на површината на теренот и др., посебно врз основа на податоците од геофизичките мерења и оние добиени со истражната дупнатина ZD -1, лоцирана е и дупчена подлабока истражна дупнатина на ZD-3 - 335,0 m (слика 11), во коритото на река Повишница, во непосредна близина на ZD -1, во која се добиени извонредни резултати. Имено, добиена е термоминерална вода со самоизлив, со температура од сса 50<sup>0</sup>C (Слика 12) и доток од околу 12 l/s. Покрај тоа, ова вода има извонредно поволен хемиски состав и балнеолошки карактеристики, за што ќе зборуваме понатаму. Во текот на 2008 година во непосредна близина на ЗД-3 е издупчена нова дупнатина ЗВ-1 (слика 11а) со цел експлоатација на термалната вода.

Во текот на 1991 година, во коритото на река Повишница (низводно во правец на запад), издупчени се ште три истражни дупнатини, на приближно меѓурастојание од сса 1 km (ZD – 4 – 134,0 m, ZD – 5 -128 m, ZD – 6 – 96 m) чии геолошки профили се прикажани на слика 12, 13 и 14. Покрај тоа издупчени се две истражни дупнатини северно и јужно од реката Повишница и тоа една северно од с. Живалево - Горно Маало (ZB -1 - 125 m) и другата во атарот на селото Филиповци, недалеку од Станковска Маала (FB-1-134,0 m). Сите овие истражни дупнатини имаа за цел со нив да се проверат определени хидрогеолошки појави, а и да послужат за први поегзактни определувања на геотермички аномалии на овој простор.

Во овој период направена е комплетна физичко – хемиска анализа на минералната вода од истражната дупнатина ZD-3 кај Кратово и стручно мислење од нејзините терапевтски вредности, која е изработена од страна на познатиот Институт за рехабилитација, Служба за балнеологија од Белград.

Како што се гледа од ова изнесеното досега, термоминералната вода Здравевци има извонредни физичко - хемиски терапевтски вредности.

## **9.0 ГЕОЛОШКА ГРАДБА НА ТЕРЕНОТ**

Во геолошката градба на пошироката околина на истражуваното подрачје застапени се кристалести карпи од прекамбриска и старопалеозојска старост, терциерни седименти и вулкански и квартерни творевини (Слика 16).

Посебен проблем претставува идентификацијата и положбата на гранодиоритските плутонски карпи, во длабоките делови од овој простор (“плутонски фундамент”), кои овде не се појавуваат никаде на површината на теренот, туку нивното постоење се прогнозира индиректно, а и врз основа на одредени геофизички податоци (гравиметрија, магнетизам).

На овој терен опфатен со Геолошка карта на пошироката околина на Кратово, во размер 1:100 000 (Слика 16), застапени се следните литолошки членови.

### **9.1 Прекамбриум и старопалеозоик**

Метаморфните карпи имаат прекамбриска и старопалеозоиска старост. Претставени се од: албит-епидот-хлоритски шкрилци и албит-хлоритски шкрилци и амфиболски карпи и метабазити.

### 9.1.1 Албит-епидот и албит - хлоритски шкрилци

Распространети се главно долж контактот со вулканските и вулканогено - седиментните карпи на Кратовско - Злетовската вулканска област.

Овие карпи се карактеризираат со шкрилеста текстура и изразена зелена боја. Содржината на албитот во нив достигнува и до 70%, во долните делови, додека во горните делови тој понекогаш отсуствува. Чести се наголемувањата на фелдспати во вид на бобици или порфиروبласти, големи до 3 mm. Хлоритот е најзастапен боен минерал во шкрилците, а се јавува и во вид на лушпи со различни димензии, кои обично се ориентирани долж фолијацијата, а понекогаш и право на неа.

Во овие карпи чести се прослојките од кварц - албит – мусковитски, кварц – албит – хлоритски, серицитските албит –хлоритски и кварцни шкрилци, кои се секогаш во нив со постепени преоди.

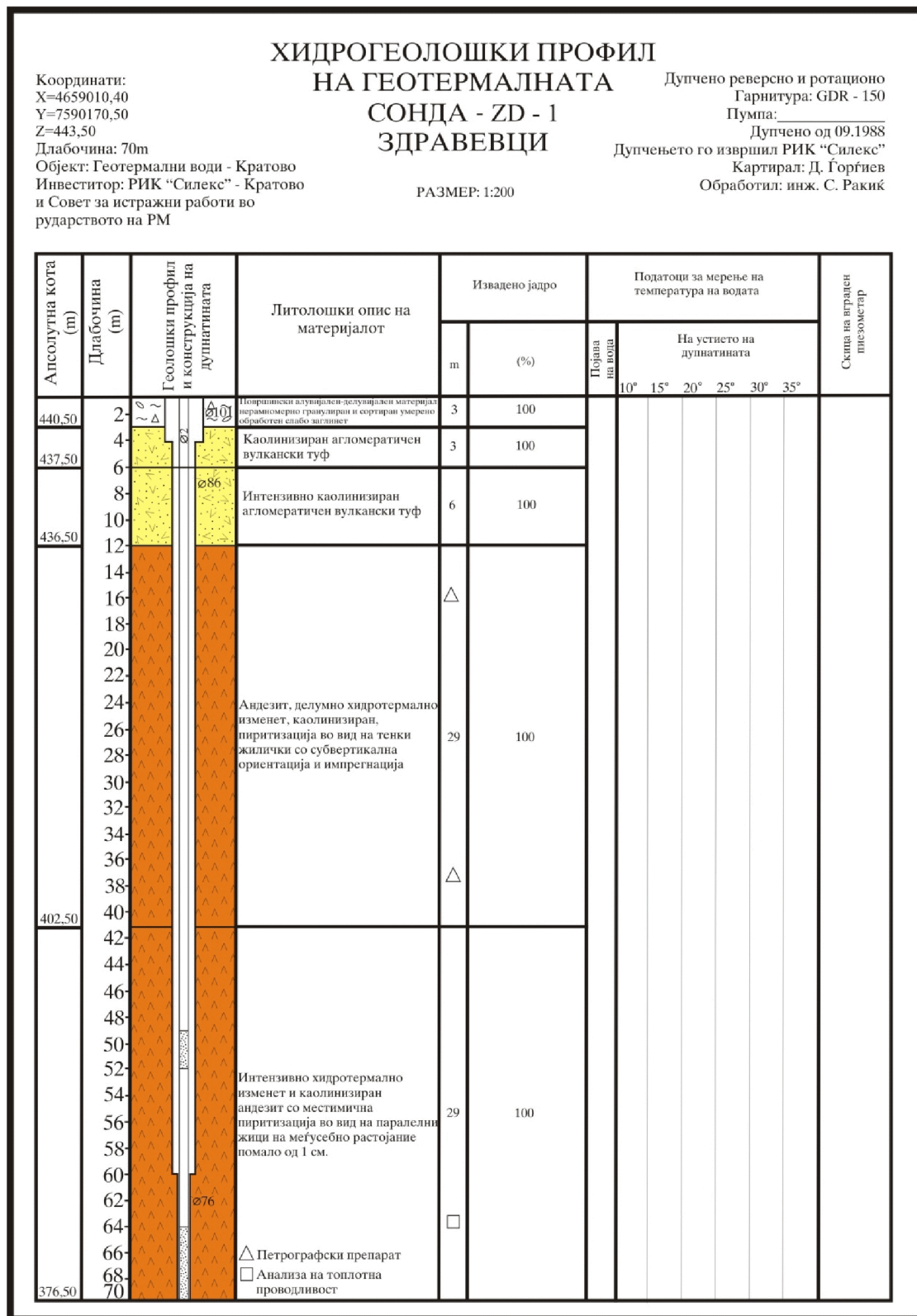
Обично се јавуваат во синклинални или антиклинални структурни облици, кои се формирани во херцинската орогенеза, а кои се пак дел од Осоговскиот антиклинориум. На овој терен, произразени се: Лисечко – Мушковската антиклинала, Псачко – Мождивначка синклинала и една помала синклинала кај с. Железница.

Од аспект на водопропусливост, овие карпи на овој простор не се посебно истражувани. На хидрогеолошката карта на Македонија, 1 : 200, 000 прикажани се како различно водопрпусни, но претежно водопрпусни и слабо водопрпусни, најчесто безводни, но и местимично водоносни. Со оглед на тоа, што овие карпи се тектонски знатно деградирани со многубројни раседи од различна положба, не е исклучена нивната водопрпусност и до значителни длабини. Дали и во која мерка на водопрпусноста влијае евентуално интерфолијациската порозност, допрва треба да се испита. За сега само прелиминарно може да се констатира дека постои можност дека еден мал дел од термоминералната вода во колекторот на овој простор, води потекло од атмосферските води, кои се инфилтрираат во метаморфниот комплекс на карпи кои се овде застапени.

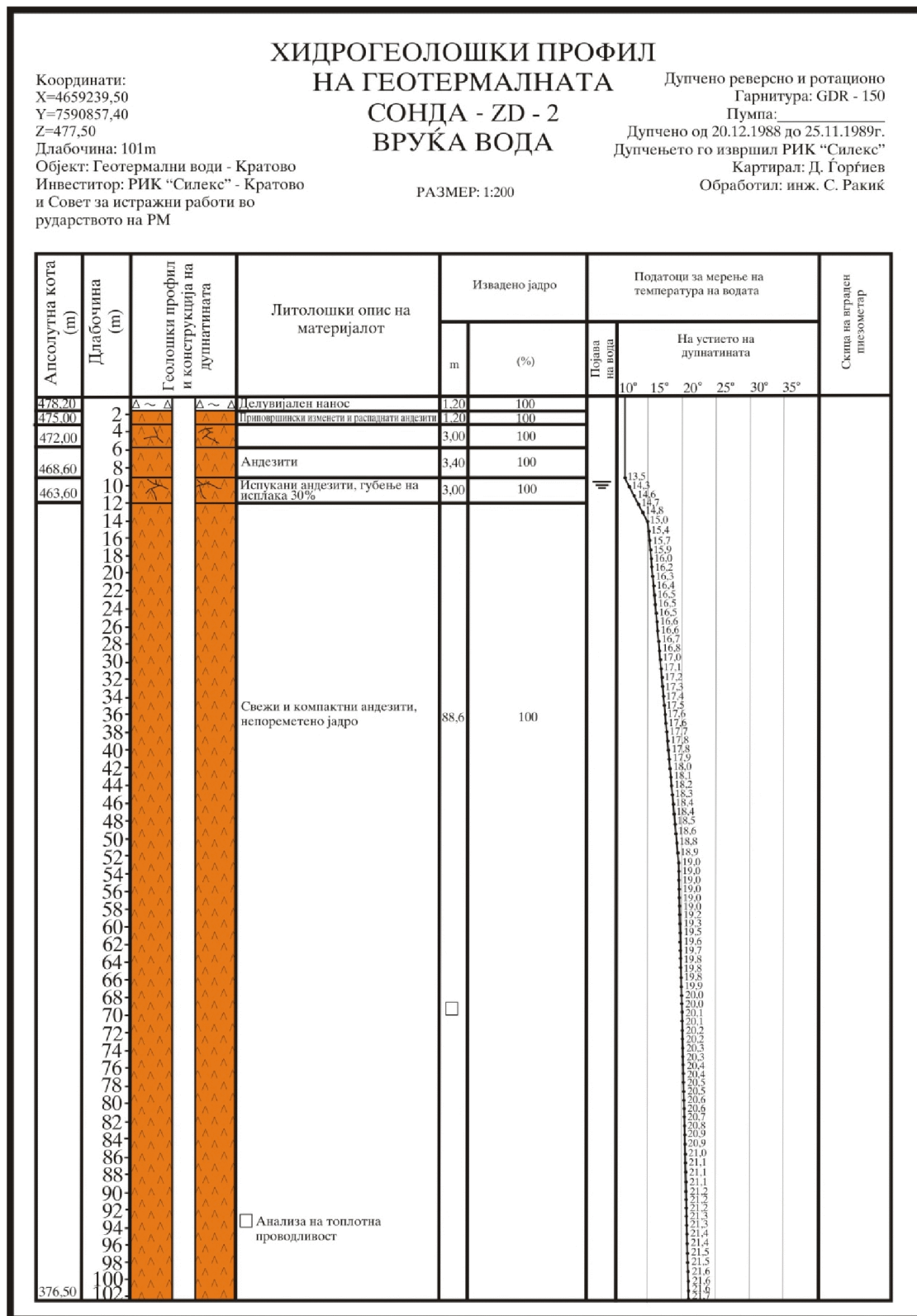
### 9.1.2 Амфиболски карпи и метабазити

Распространети се во северните падини од овој дел од осоговските планини и околу пробојот на Крива Река, односно помеѓу с. Трновац, Ветуница и Опила.

Имаат шкрилеста и масивна текстура и изразита зелена боја, поради што јасно се разликуваат од околните карпи. Амфиболските шкрилци се јавуваат меѓу слоевите во околните други видови на шкрилци. Содржат идиоморфни актинолити, потоа епидот, некогаш сфен и рутил, меѓу кои се сретнува и кварц, а некаде и фелдспад. Во нив се забележуваат и реликти од магматски карпи, па веројатно имаат седиментно потекло.

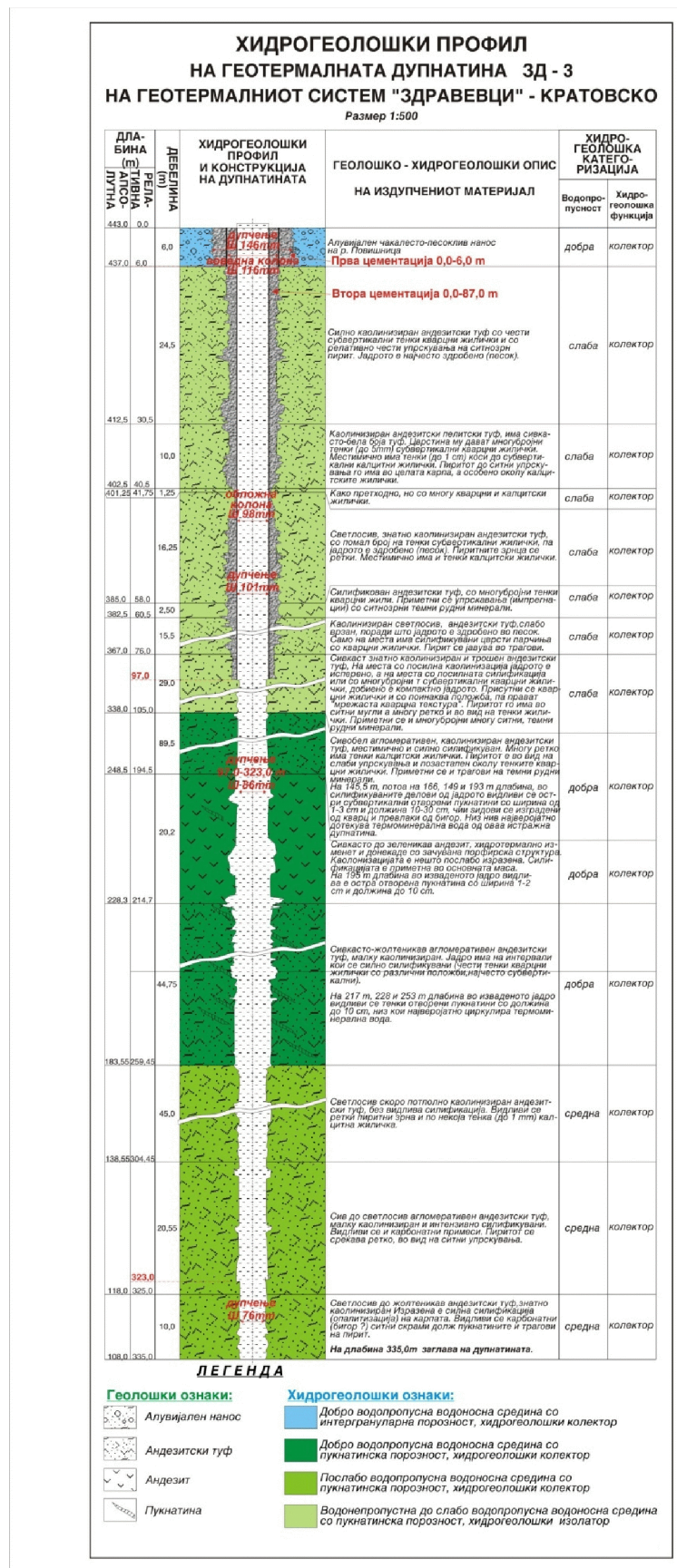


Слика 9. Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZD-1  
Picture 9. Hydro geological profile of geothermal drill ZD-1

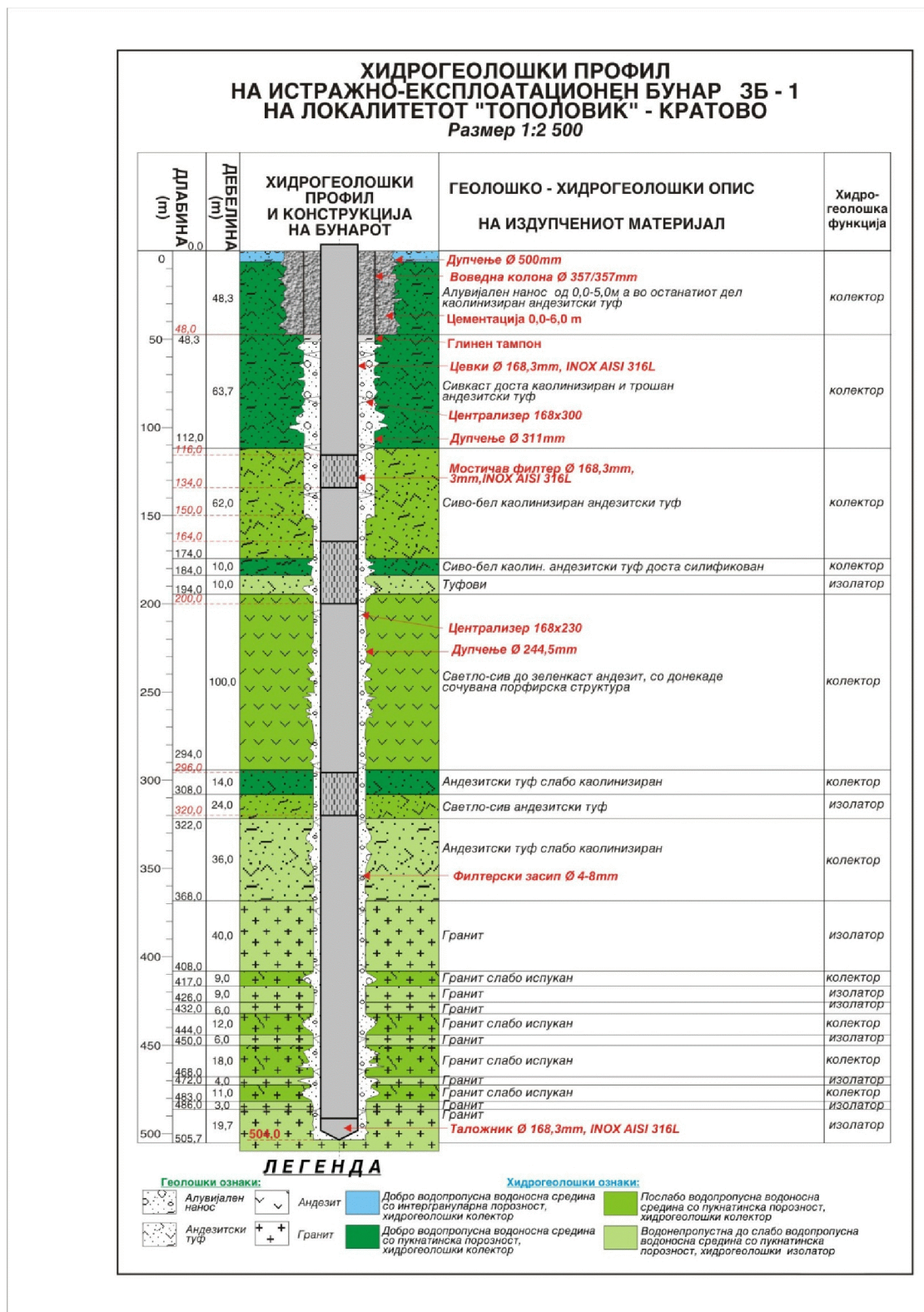


Слика 10. Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZD-2  
Picture 10. Hydro geological profile of geothermal drill ZD-2

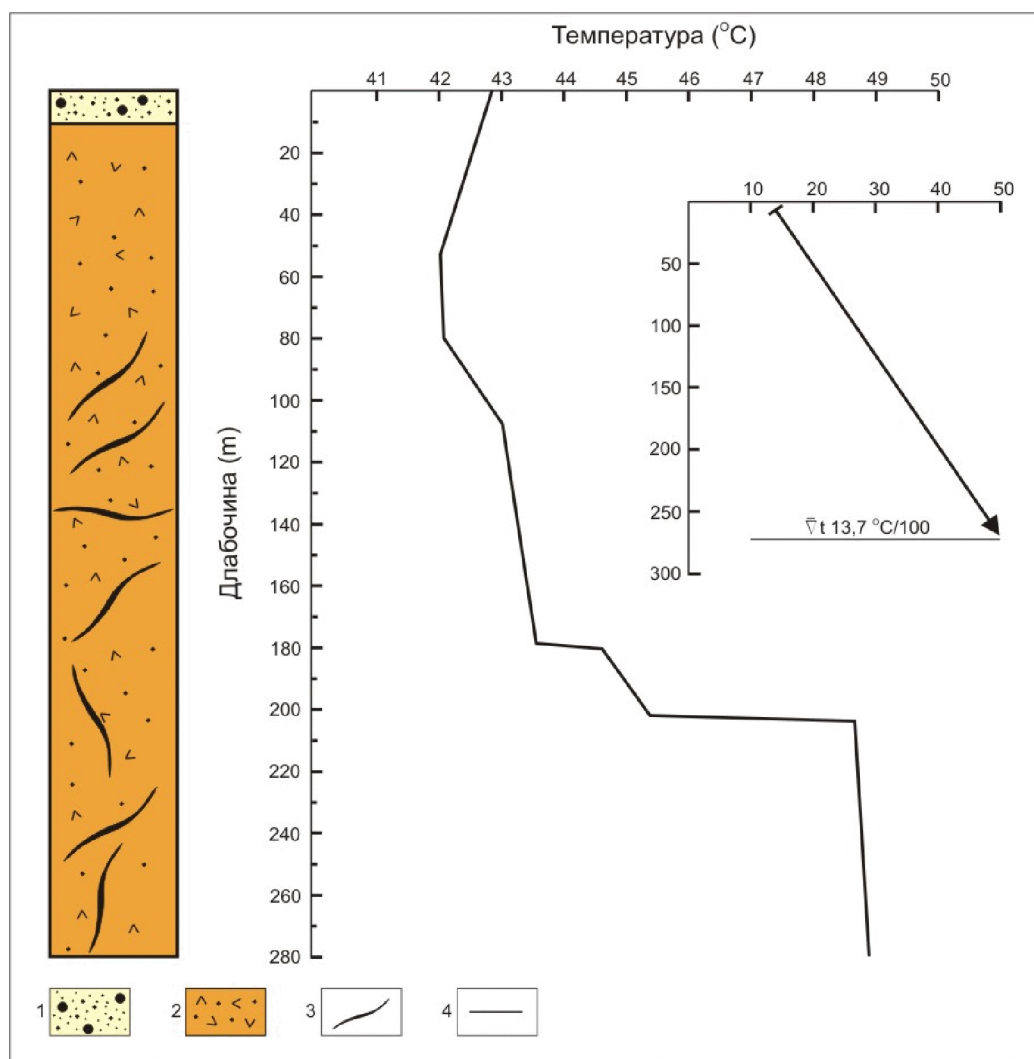




Слика 11. Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZD-3  
Picture 11. Hydro geological profile of geothermal drill ZD-3

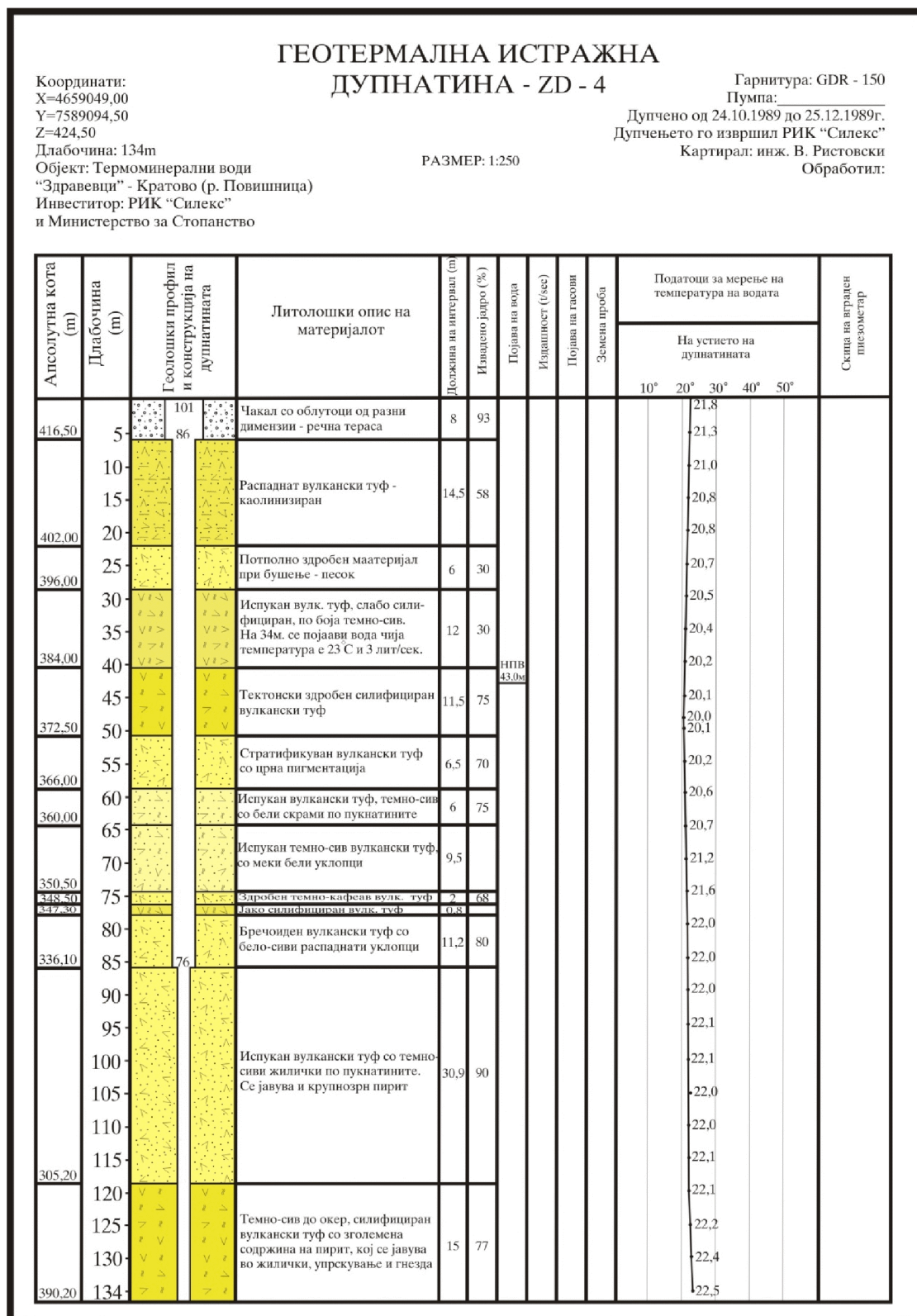


Слика 11а. Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZB-1  
Picture 11a. Hydro geological profile of geothermal drill ZB-1

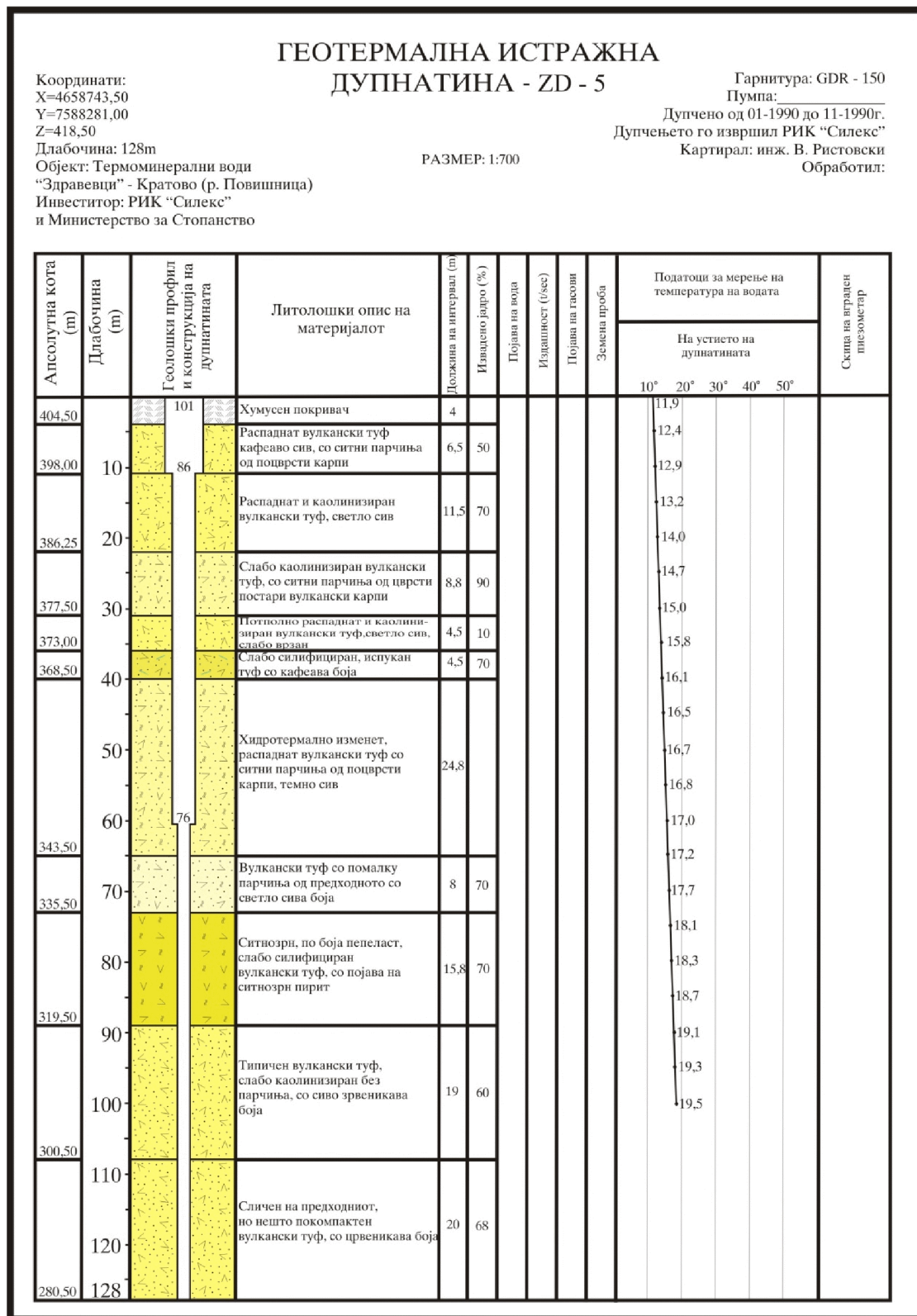


Слика 12. Литолошки профил и измерена температура во дупнатина ЗД-3  
 Picture 12. Litological profile and measured temperature in the drill ZD-3

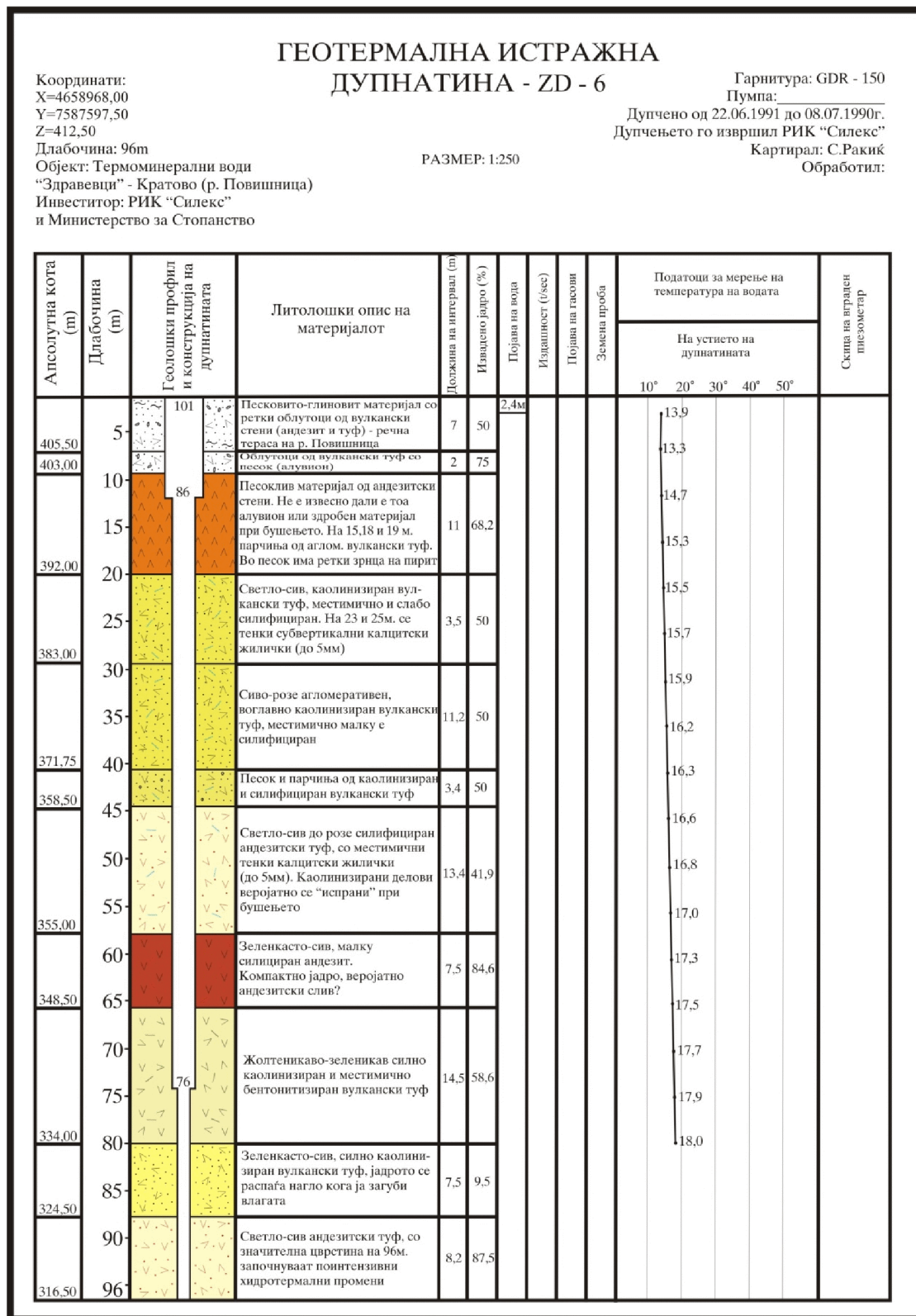




Слика 13. Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZD-4  
Picture 13. Hydro geological profile of geothermal drill ZD-4



**Слика 14.** Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZD-5  
**Picture 14.** Hydro geological profile of geothermal drill ZD-5



Слика 15. Хидрогеолошки профил на геотермална дупнатина ZD-6  
Picture 15. Hydro geological profile of geothermal drill ZD-6

Метабазитите се јавуваат во вид на масивни леќи и обично имаат остар контакт со околните карпи. Изградени се од амфибол, албит и кварц и споредни состојки: епидот, сфен, рутил и гранат. Имаат офитска структура, која укажува на нивното магматско потекло.

Шкрилците потекнуваат од пелитско – псамитски и туфозни седименти, во кои во текот на седиментацијата се вршело изливање на дијабазни маси и пробои на габроидни карпи. Врз база на палинолошки испитувања, определена им е рифеј – камбриската старост.

Дебелината на оваа серија на карпи се цени на околу 5. 600 m.

Слично како и другите старопалеозоиски творевини на овој простор, овие карпи се тектонски деградирани но и покрај тоа слабо водопрпусни, па поради тоа имаат веројатно незначително влијание на вкупниот биланс на подземните води во овие простори.

## **9.2 Креда**

Горно кредните седименти се претставени од песокливи варовници и глиновити лапорци.

### *9.2.1 Песокливи варовници и глиновити лапорци*

Кредните седименти не се откриени на површината на овој терен.

Меѓутоа, тие можат да имаат големо значење во градбата на колекторот за термални води во овој простор.

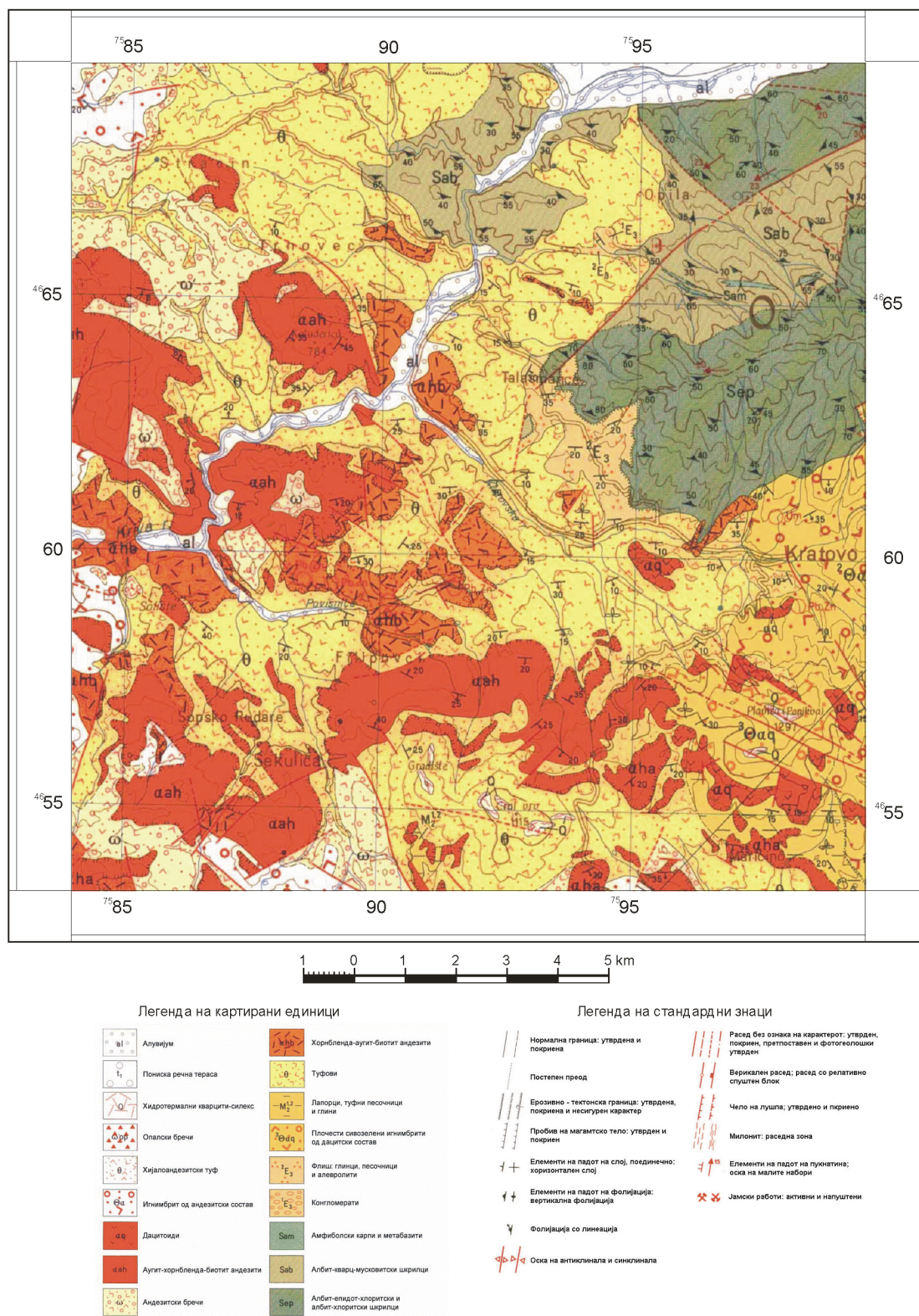
На листот Кратово, горнокредните творевини се констатирани само во горниот слив на река Пчиња во долината на Козједолска Река (кај село Лешница), кои се само мал дел од оние творевини кои имаат големо распространување на листот Трговиште.

Имено при картирањето на ОГК 1: 100.000 (листови Куманово и Кратово), на мали маси на горно кредни лапорци и варовници, утврдени се на источните падини на Скопска Црна Гора, С3 од село Матејче. Иако тие овде се наоѓаат во сложени тектонски односи со јурските и палеозоиските творевини, сепак возможна е и претпоставката дека тие се простираат и во правец на ЈИ (под терциерните седименти на Кумановската котлина) па и под еоценско – олигоценските седименти на овој терен.

На листот Кратово, горно кредните творевини констатирани се само во горниот слив на река Пчиња во долината на Козједолска Река (кај село Лешница), кои се само мал дел од овие творевини кои имаат големо распространение на листот Трговиште.

Овие седименти претставени се со во варовници, песочници и лапорци кои лежат трансгресивно преку палеозојските кристалини. Започнуваат со лапорци и песочници со вкупна дебелина од сса 20 m, преку кои лежат лапровити варовници со дебелина до 200 m.





**Слика 16.** Геолошка карта на пошироката околина на геотермалниот систем Здаревци (Според ОГК лист Кратово)

**Picture 16.** Geological map of the wider environment of geothermal system Zdravce (According OGK list Kratovo)

Во прилог на претпоставката дека под еоценско – олигоценските седименти и во овој простор веројатно постојат и големи маси на мермери, можат да послужат и податоците на Миливојевиќ. Имено, тој врз основа на изотопските анализи на содржина на  $^{13}\text{C}$  во слободниот  $\text{CO}_2$  во долниот комплекс на јужниот дел од Српско – Македонската маса (од најзначајните појави на термоминерални јаглени кисели води на тој простор), претпоставува, со голема сигурност, постоење на серија на мермери, почнувајќи од Куршумлија и Прокупље на СЗ па се до околината на Бујановац и Врање на ЈИ. Врз основа на тоа, Миливојевиќ претпоставува дека овде постои огромно хидрогеотермално наоѓалиште во мермерите на Српско–Македонската маса.

Не е исклучена можноста тие мермерни маси да се протегаат и натаму кон ЈИ, т.е. и во теренот кој е предмет на нашите хидрогеотермални истражувања.

На тоа укажуваат релативно чести анклави на старопалеозоиски мермери (и други кристалини), особено во игнимбрите на СИ дел од Кратовско –Злетовската вулканска област.

Постоење на палеозоиските мермери во фундаментот на еоценските (и кредни) седименти и во овој простор може да има првостепено значење за формирање и постоење на огромен колектор на термоминералните води. Ова, дотолку повеќе што сеуште не е сосема извесно дали се и во која мерка порозни, односно кавернозни или воопшто карстифицирани, флишоидните еоценски и кредни седименти или нивни карбонатни слоеви и прослојки.

Одговор на претходните прашања ќе дадат првите подлабоки структурни истражни дупнатини, со длабина од 1.000 – 2.000 m.

### **9.3 Терциер**

Карпите од терциерна старост во рамките на овој простор се претставени од седименти, вулканогено - седиментни и вулкански карпи, конгломератско ниво, вулканогено седиментна серија, флиш, олигоценски творевини, миоценски творевини, плиоценски творевини, како и седиментни членови на марински, бочатни и слатководен тип, а кои скоро редовно се сменуваат со различни диференцијати на еруптивен комплекс на карпите.

Најстарите седименти на палеоген во овој терен, имаат изгледа средноеоценска старост и тие веројатно понекогаш директно лежат преку кристалинскиот (плуонскиот) фундамент во овие простори. Првата појава на вулканогените примеси на палеоген започнува при крајот на еоцен, односно во еоцен олигоценските седименти, поради што е извесно дека вулканската активност во овие простори започнува пред крајот на еоцен или почетокот на олигоцен и со помали или поголеми

прекини трае се до плеистоцен, а некои од поствулканските манифестации веројатно и до почеток на холоцен.

### *9.3.1 Седиментни, вулканогено - седиментни и вулкански карпи*

Седиментни, вулканогено - седиментни и вулкански карпи од терциерно - квартерна старост на овој простор, освен што се меѓусебно просторно поврзани и што постои извесна закономерна сукцесија во нивното образување тие имаат и меѓусебна генетска врска. Од таа причина, овде ќе ги прикажеме накратко сите досега идентификувани карпи во овој простор, водејќи сметка за нивната суперпозициона или друга сукцесија на образување, со посебен нешто поголем осврт на оние карпи за кои може да се претпостави поголемо значење како колектори, изолатори или грејни тела за термоминерални води на овие простори.

Спрема досегашните сознанија, најстари терциерни карпи во овој простор се од еоценска старост. Меѓутоа, како што спомнавме и порано, упростена поделба на така наречениот горен структурен кат (кристалини) и горен структурни кат (вулканити), кои директно лежат преку нив, нема доволно основа, затоа што преку кристалинскиот фундамент лежат често и нормални седименти на еоцен, во кои не се запазени вулканогени примеси од било кој вид. Ако и постои рационално објаснување за отсуство на палеоеоценските и долно еоценските творевини во овој простор, тоа не би требало да биде причина да се исклучи можноста за постоење дури и на горнокредни творевини, кои можеби лежат директно преку кристалинскиот фундамент, односно можеби го изградуваат подлабокиот дел од средината која може да претставува дел од колекторот за термоминерални води на овој простор. Горнокредните седименти, кои како што спомнавме порано лежат трансгресивно преку кристалините шкрилци, познати се на пример во Којзедолска Река на северните падини на планината Герман (ОГК 1: 100.000. лист Кратово), каде започнуваат со песковити лапорци и песочници, а завршуваат со лапровити варовници имаат дебелина преку 200 m. Тие се внесени и на литолошкиот столб на листот Кратово. Дали се овие седименти застапени и во подлабоките делови на овој простор – под еоценско-олигоценски-флишни творевини, за сега е тешко со сигурност да се зборува.

### *9.3.2 Конглометатско ниво $E'_3$*

Има релативно големо распространување на површината на овој терен. Најдени се во вид една помала маса - ерозиона карпа во горниот тек на Балев Дол (помеѓу селата Опила и Крилатица), но се знатно распространети во атарот на село Ветуница и делумно кај Златковци и Пинџур Маало на с. Трновац, каде лежат трансгресивно преку хлоритско-

серицитските шкрилци. Изградени се од конгломерати и бречи, во кои се сместени и потенки слоеви на песочници, глинци и лапорци. Во нив се најдени валутоци од тријаски варовници, понекогаш од шкрилци или магматски карпи. Имаат различна боја, а најчесто се сини, сиви или виолетови, понекогаш и црвеникави.

### *9.3.3 Вулканогено - седиментна серија E<sup>2</sup><sub>3</sub>*

Над конгломератското ниво започнуваат турбидити, претставени од песочници и глинци од типот на грауваки и субграуваки.

Над нив лежат тенки слоеви на жолти песочници (до 2 cm) и сиви песочници (од 5 cm дебелина). Седиментацијата завршува со ниво на слоеви на ситнозрнести жолти песочници, кои најизменично се сменуваат со прослојки на алевролити и глинци. Во нив се забележани слоеви и прослојки на песокливи варовници со нумулитска фуна. Значајно е да се забележи дека во овие слоеви за прв пат се забележани појави на туфити и туфогени песочници, што е јасен показател дека вулканската активност на овие простори започнува во горен еоцен, односно на границата еоцен – олигоцен.

Дебелоната на оваа серија (вулканогено-седиментна) се цени на 1.100 – 1.300 метри.

Овие карпи досега се во поголеми маси констатирани во атарот на село Талашманци, од каде се протегаат кон ЈИ до коритото на Кратовска Река и контактот со млади кварцлатитски субвулкански пробои на Здравчи Камен.

Најчесто залегаат во правец кон југ под наклон од 15 - 25°, односно во правец на оската на вулканогено – тектонската депресија наречена Криворечка синклинала, за која покасно подетално ќе се задржиме од причина што таа има суштинско значење за формирањето на геотермалниот систем кој е предмет на нашите истражувања.

Под влијание на покасните термички и контактни влијанија, овие седименти се силни хидротермално изменети, со трагови на рудната минерализација (пирит, халкопирит), а што е посебно значајно силно се импрегнирани со минерали на железо, на прстор поголем од 2 km<sup>2</sup>. Зголемената концентрација на железо, во минатото биле причина за ограничено вадење на железната руда (од таму е името Железница).

Од посебно значење, овде е изворот на “кисела вода” кој е познат како Гоцева Чешма, лоцирана на контактот помеѓу кристалинот, еоценските седименти и големиот субвулкански пробој на кварцлатита на Здравчи Камен. Од значење е да се напомене дека овие седименти имаат ерозиона граница со кристалинот, преку кои дискордантно директно лежат. Нивното значење во градбата на колекторот за термоминералните води во овој простор веројатно е битен, но за сега не може со поголема сигурност да се определи.



#### 9.3.4 Флиш

Претставен е од песоци, алевролити и глинци - варовници ( $E^3$ ).

На западен дел од овој терен, односно на ЈИ дел од листот Куманово (ОГК, 1 : 100.000), на голем простор развиени се горноеоценски седименти, кои се скоро идентични со највисоките хоризонти на Овчеполскиот горноеоценски флиш, односно на таканаречените горните жолти песоци. Во најголем дел, према исток, преку нив лежат големи вулкански маси на Кратовско-Злетовската вулканаска област. Некои автори, оваа серија на конгломерати, песочници, лапорци и варовници ја нарекуваат еоценско-олигоценска серија ( $E_3 - OI_1$ ).

Овие седименти широко се развиени и имаат голема дебелина на западниот дел од овој терен, почнувајќи од село Стрезовце, па преку Крива Река и селата горно и долно Јачинце, до атарот на село Косматец и Мургаши, од каде повиваат кон ЈИ во правец на Овче Поле. Големи маси на оваа серија на карпи, распространети се на левата страна на Крива Река, помеѓу селото Бељаковци и атарот на селото Коњух, каде исто така, имаат големо распространение и дебелина. Обично се протегаат во правец СЗ – ЈИ и залегаат под вулканитите во правец на СИ, најчесто под  $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ , во некои делови  $10^{\circ}$  –  $15^{\circ}$ , исто така кон СИ. Долж левиот брег на Крива Река, од атарот на селото Коњух, па низводно се до реката Пчиња, овие седименти доста стрмно залегнуваат во Ј и ЈЗ поле ( $40^{\circ}$  –  $70^{\circ}$ ), веројатно под влијание на локални прилики (пробои на субвулканити помеѓу селата Шопско Рударе и Бељаковци). Јужно и ЈЗ од селото Стрезовци тие залегаат стрмо во ЈЗ поле, најчесто под наклон од  $40^{\circ}$  –  $60^{\circ}$ , додека во потокот Живуша и на месноста Калиште, имаат поинаква положба.

Тоа се најчесто песокливи карпи, но во нив се сменуваат слоеви и прослојки на глиновити и варовити алевролити, варовровити песочници, лапровити варовници, глинци и спрудни варовници. Сето тоа укажува на големи промени во режимот на седиментацијата во доста плитки и често меѓусебно неповрзани седиментациони басени. Варовитите песочници изградени се најчесто од кварц со нешто помала количина на фелдспати и лискуни. Цементот е најчесто карбонатен (околу 30% волумен на карпата), често и од кристален калцит. Лапровите варовници се чести во серијата и се јавуваат обично во вид на тенки плочи (2 – 10 cm), а содржат голем процент на  $CaCO_3$  (околу 85%), во нив се сретнуваат и крупни кристали на калцит. Спрудните варовници кои се на пример развиени кај селото Војник, имаат изразена банковитост и содржат доста богата фауна (корали, кумулити, пектени), врз основа на кои, а и врз основа на нивната поврзаност со горноеоценските седименти на Овче Поле, определена е нивната приабонска старост.

Оваа серија на седименти е сврстена во северната фација на горни еоцен дефинирајќи ја како многу хетерогена формација со изразено

сменување на конгломерати, песочници, лапорци и варовници, кои имаат карактер на флишна формација, во која се ритмички сменуваат: конгломерати, глиновити песочници, кварцни песочници, трошни и цврсто врзани песочници, лапровити песочници и варовници.

Бојата им варира од темно жолта до светло жолта.

Со микроскопските анализи на примероци од горниот дел на оваа серија, приметени се само фрагменти од вулкански карпи, што укажува на неголема вулканска активност во време на таложењето на овие седименти.

Врз основа на досегашните сознанија, а посебно врз основа на тоа што е видено на теренот, овој комплекс на горноеоценски карпи има изразита порозност и водопрopusност. Имено преку овие карпи тече и една мала притока на Пчиња, викана река Луке (се влива во Пчиња наспроти Кумановска Река), која макар, што има сливно подрачје и преку 100 km<sup>2</sup>, најчесто е безводно посебно во летните и есенските месеци. Таа има многу мал проток на вода и во времето на обилни врнежи, па дури и по обилни поројни врнежи.

Овој податок наведува на прелиминарен заклучок, дека најголем дел од атмосферните на овој простор, поради изразената порозност на карпите, многу брзо се инфилтрира во нив, на инфилтрационата површина која е многу поголема од сливот на оваа река. Спрема положбата на слоевитоста на овие карпи, веројатно најголем дел од подземните води во овој простор се усмеруваат кон правец на исток, односно кон аквиферот кој е предмет на сегашните истражувања на термоминералните води западно од Кратово.

На серијата на овие седименти, најверојатно и припаѓаат и масивните варовници кои се за прв пат надупчени под вулканитите при истражувањето на Pb – Zn рудни жици на источниот дел од овој терен, кај селото. Имено со длабинска истражна дупнатина број 571 (на рудник Злетово ) на длабина од околу 300 m под површината на теренот, преку 100 m дупчено е и низ масивните варовници (дупчењето е всушност во нив), чија старост е определена само како палеогена. Според досегашните сознанија, може да се претпостави дека овие седименти, гледано во целина, имаат широко распространување во подлогата на вулканскиот комплекс на карпи, и веројатно, имаат големо значење како колектор за термоминералните води, на овој простор.

### *9.3.5 Олигоценски творевини*

Глобално гледано, олигоценските творевини имаат големо распространување на овој терен. Но кога ќе се навлезе во детали, исклучително е тешко да се издвојат олигоценските творевини по сукцесија на нивното издвојување (долен, среден и горен олигоцен).

Значајно е дека во олигоценските творевини за прв пат се јавуваат големи количини на вулкански материјал, кој понатаму во сите терциерни седименти е главен составен дел, а е претставен со бречи, туфогени песочници битуминозни шкрилци.

#### 9.3.5.1 Долен олигоцен

Тука се вклучени овие седиментни творевини порано прикажани како еоценско - олигоценски, во кои учеството на вулканогениот материјал е до мерка што може да се третираат како вулкански.

Како долно еоценски може да се третираат: конгломератично - песочливите и лапровити седименти со прослојки на варовници, во кои се изразени примеси од вулканоген материјал.

Средно олигоценските творевини - се претставени со глиновити - конгломератични песочници, туфни песочници, бречи и варовници со променлива понекогаш доминантна, количина на вулканоген материјал.

#### 9.3.5.2 Среден олигоцен

Овие творевини се претставени со глиновито – конгломератични песочници, туфни песочници, бречи и варовници со променлива, но секогаш доминантна количина на вулканоген материјал.

Овие седименти се знатно распространети на повеќе локалитети на овој терен. На западниот дел најдени се во околината на селото Стрезовце, Пезово – Кокошиње и посеверно кај селото Бајловце, каде се наоѓаат во базата на андезити и трахиандезити.

Во централниот дел, особено се распространети од селото Руѓинце, преку Страцин до Трновац и Крива Река потоа во атарите на селата Куклица, Кетеново, Вакав, Сакулица и Шопско Рудари. Овде најчесто лежат трансгресивно преку еоцен – олигоценските творевини.

#### 9.3.6 Миоценски творевини

Миоценските творевини, гледано во целина, имаат широко распространување на овој простор. Тие се изградени од црвеникави песочници, лапорци, лапоровити туфни песочници, туфити и пелитски туфови, а кај с. Плешенци и од битуминозни шкрилци. Поголеми маси се застапени источно од Кратово и с. Г. Кратово, потоа кај село Г. Стубол, јужно од Црни врв.

Често се под влијание на поствулканските процеси и се значително хидротермално променети. Врз основа на добро сочуваната флора во нив е определена средно и горно миоценска старост.

### 9.3.7 Плиоценски седименти

Плиоценските седименти имаат сосема мало распространување на овој простор и тоа само во неговиот западен простор, во вид на мали изолирани маси, во околината на селата: Бељаковци, Коњух, Пезово и Кшање.

Имаат многу хетероген материјал и ретко се стратификувани. Се дефинирани како песокливо - глиновита серија. Во нивниот состав влегуваат: глини, субпесоци, субглини, леќи на песочници и бигорливи варовници, а и значајни маси на чакали.

Во околината на селото Бељаковци (ридот Чељабиско Грло), запазени се на мал простор и со мала дебелина слатководни варовници, во кои покрај карбонатната материја се запазуваат и зони со нешто опал со сива боја. Преку нив лежат туфните песочници и игнимбрити од дацитски состав. Староста им е определена на како горно плиоценска, но и како плиоценско-квартерна.

### 9.3.8 Квартер

Квартерните карпи се претставени со квартални седименти и терциерно - квартални вулкански и субвулкански комплекс на карпи.

*Квартерните седименти* имаат нешто поголемо распространување само во некои делови од западниот дел од овој простор. Застапени се во вид на делувијален материјал, алувијални наноси и бигор.

Делувијалниот материјал има мала дебелина, е изграден од делувиум кој потекнува од околните примарни карпи. Овде се издвоени т.н. горни и долни тераси на Крива Река, најчесто изградени од парчиња на кварц и на вулканогени и метаморфни карпи.

Алувијалните наноси во самото корито на Крива Река понекогаш достигнува дебелина и до 10 m. Алувијален материјал е застапен и во долниот дел на големите притоки на Крива Река, како во: Кратовска Река, Ветуница, Повишница, Врлеј Дол, Држава и Живуша.

Распаднат површински, најчесто делувијален материјал, во вид на хумус или дробина, има на овој терен, особено на неговиот источен дел, мала дебелина и распространение, поради големата оголеност на теренот. Позначајни количини на хумус и ораница постојат во правец на запад, кон долината на Пчиња.

Бигорот како единствен претставник на евапорити на овој терен, количински е безначаен. Меѓутоа, од аспект на геотермијата е сигурен индикатор за постоење на геолошки многу млади до современи термоминерални извори, кои имаат првокласно значење.

Имено, околу фосилните и современи извори на минерални и термоминерални води во Кратовска Река, Повишница или нивните притоки, можат да се најдат поголеми или помали прослојки или слоеви,

или парчиња на бигор, кои покрај останатото, укажуваат на постоење на карбонатни творевини под вулканскиот комплекс на карпите. Присуството на бигор на поголеми количини во коритото на Повишница, беше еден од најзначајните индикатори кој овозможи откривање на термоминерални води со истражните дупнатини ЗД-1, ЗД- 3 и ЗД.

#### *9.3.9 Терциерно-квартерни вулкански и субвулкански комплекс на карпи*

Вулканскиот и субвулканскиот комплекс на карпи (тн."горен структурен кат"), најраспространет е на површината, особено на централниот и источниот дел од овој терен, а претставен е со различни дацитско-андезитски карпи, нивните сливови и пробои, туфови и игнимбрити. Спрема досегашните сознанија, вкупната дебелина им достигнува и преку 1.000 m. Најстари меѓу нив се хорнбленда биотит андезити, а најмлади - изливи на лабрадорско-аугитски андезити (андезит-базалти) и дајковидни жични диоритпорфирити.



**Слика 17.** Создавање на бигор при истекување на вода од ЗД-4

**Picture 17.** Creation of freestone during water flow from ZD-4

Во текот на долготрајна и повеќефазна вулканска активност (од еоцен до плеистоцен), во субмарински, сублакустрични, делумно и субаерски услови, покрај сливовите на дацитоандезити и игнимбрити, широко се распространети и повеќефазно одлагани вулканогено-седиментните творевини, а меѓу нив често и на повеќе нивоа, вршено е одлагањето на

убаво стратификувани, најчесто пелитски туфови, со примеси на теригениот материјал од околината, кои веројатно имаат најголемо значење од аспект на изолатор за термоминералните води во овие простори.

Повеќефазно обновувани најчесто радијални тектонски движења во текот на терциер и квартал, т.е. во текот на Алпската орогенеза, посебно во нејзината Савска фаза (олиго-миоцен), била причина како на отварањето на патиштата за исфрлување на дацито-андезити и нивните туфови, така и за многубројни субвулкански пробои на дацито-андезити, млади кварцлатити и најмлади диоритпорфирити, чие образување завлегува, изгледа и доста длабоко во квартал. Нивното значење може да биде особено од аспект на идентификација на грејните тела за термоминералните води во овој простор, односно од аспект на значајните литогеотермални потенцијали во овој простор.

Што се однесува до сукцесијата на образованието на вулкански, субвулкански и вулканогено-седиментни творевини во овој дел од Кратовско-Злетовската вулканска област, може да се рече дека таа сèуште не е доволно изучена, но сепак е во глобала извесна. Спрема податоците на повеќе автори, посебно на геолозите на "Геоинститут", во периодот еоцен - квартал, констатирани се четири главни фази на вулканизмот:

Првата фаза на вулканската активност претставена е со изливи на хорнбленда биотит андезити, долж една дислокација која претставува "контакт" на Вардарската зона и Српско-Македонската маса, а кои се намерно сочувани на подрачјето Талашманци Крива Река.

Втората фаза врзана е за истата структура и дава пространи и дебели изливни плочи на игнимбрити од дацитски и кварцлатитски состав, а кои се позастапени на источниот дел од овој простор.

Третата фаза на вулканската активност ги користи новонастанатите структури со протегање ИЗ до СЗ - ЈИ, кои се наоѓаат појужно од претходната. Оваа фаза во повеќе махови е обновувано, а започнува со андезитски изливи во централните делови на Кратовско-Злетовската вулканска област, давајќи различни диференцијати како: биотит-хорнбленда андезит, хорнбленда - андезит и хорнбленда – аугит-биотит андезити. Нешто подоцна се врши одложување на игнимбрити и стратификувани туфови од андезитско-дацитски состав. Долж истите структури, на поедини места, се јавуваат изливи на трахиандезити, трахити и лабрадорско - аугитски андезити (андезит - базалти). Во подрачјето Сакулица - Татомир, се јавуваат перлитите, што, исто така, укажува на третата фаза.

Во оваа фаза, на овој терен се јавуваат субвулкански пробои и (или) конусовидни пробиви на санидитски дацито-андезити и кварцлатити, меѓу кои е најмаркантен оној на ридот Здравчи Камен, недалеку од Кратово.

Четвртата фаза на вулканската активност, условена е со постари реактивирани и со помлади структури, кои се поблиску до централните делови на некогашен терцијарен басен, а кои биле веројатно лоцирани и на овие простори. Тогаш дошло до изливање на аугит и биотит андезити, а уште покасно до одложување на големи количини на пирокластички - игнимбриоти од андезитски состав, различни видови на бречи и туфови. Како последни продукти на вулканската активност на овие простори, се сметаат нагоричанските базалти, кои лежат преку плиоценско-квартерни седименти. Едновременно е, веројатно, и образувањето на млади субвулкански пробои на диоритпорфирити.

Инаку, по нашето мислење во поглед на одредување на "бројот" на вулканските фази и подфази на овој простор, или во Кратовско-Злетовската вулканска област, воопшто сеуште не е дефинитивно завршена работата. Самиот факт што вулканската активност во оваа област започнува веќе некаде по средината на еоцен и трае со помали прекини (или континуирано) дури до почетокот на квартал, значи преку 40 милиони години, води кон претпоставката за нужно постоење и на поголем број на фази и подфази на вулканската активност. На тоа укажува, покрај останатото и голема "фацијална" разноврсност на вулкански и вулканогено седиментни творевини во овие простори, што е веројатно и последица на долготрајно и количински огромно исфрлување на вулканоген материјал воопшто, а со тоа осетна диференцијација на "изворна" магма, за која денеска повеќе претпоставуваме отколку аргументирано тврдиме дека имала гранодиоритски карактеристики.

Поствулкански, или поточно речено, постпароксеизмички манифестации, во вид на хидротермална и солфатарско-фумаролска активност на овој простор имаат, изгледа особено долго траење, а и посебно значење. Производи на овие активности се значајни количини на различни видови силно метасоматски изменети, предимно силни силифинувани карпи, меѓу кои се најзначајни различни опалски бречи и силекс-секундарните кварцити. Продукт на овие манифестации се и знатни појави на елементарен сулфур, пред се во Туралевски Кратер, на планината Пластица, Црни Врв и наоѓалиштето на сулфур недалеку од селото Плешинци.

На наведените локалитети, редовни се и други видови на хидротермални појави (каолинизација и др.), а и екстензивната полиметалична минерализација (на локацијата. "Пластица - Златица", "Црни Врв", "Боровиќ", "Строиманци" и др.

Врз основа на петрохемиските карактеристики на вулканогените карпи на Кратовско - Злетовската вулканска област, па и на овој нејзин дел, може да се каже дека тие најчесто и припаѓаат на една гранодиоритска магма, односно на нејзините еквивалентни дацити и андезити. Меѓутоа, со оглед на појавата на субвулканските пробои на риодацити



(кварцлатити), како по кисели претставници од едната страна и појавата на изливите на андезит - базалти, како најбазични претставници од другата страна, овде би можело да се зборува за една асоцијација: риолит - дацит - андезит - базалт, со многубројни, често постепени преоди помеѓу нив.



(photo: Ristova, 2010)

**Слика 18.** Манифестација на хидротермални промени на локалитетот Боровиќ  
**Picture 18.** Manifestation of hydrothermal changes of the Borovik locality

Имајќи го во предвид наведеното, спрема досегашните испитувања на овој простор издвоени се следните видови на вулканските карпи:

*Хорнбленда - биотит - андезити* - имаат големо распространение во некои делови од овој простор, а особено на просторот Талашманци - Крилатица, потоа помеѓу селата Кокошиње и Татомир и кај маало Ресавци (селото Коњух). Меѓутоа, тие се овде јавуваат во вид на помали разбиени еродирани остатоци од плочи кои лежат обично преку еоцен-олигоценски седименти. Доста се искршени и грусирани. Бојата им е обично сиво - виолетова.

Овие карпи го претставуваат првиот член на изливните карпи во Кратовско - Злетовската вулканска област. На места тие ги пробиваат шкрилците од зелената серија, а поненогаш се и самите пробиеани со помладите андезити. Често се доста хидротермално изменети долж раседите. Банковити се и со плочесто лачење. Најчесто се знатно испукани издробени, со знатна пукнатинска порозност, со често отворени пукнатини, кои можат да акумулираат дел од атмосферската вода. Лежат под игнимбрите од дацитски состав.

*Кварцлатити* - познати се СИ од селото Димонце околу коритото на реката Држава и на Голо Брдо СЗ од селото Татомир, каде се јавуваат во вид на дајкови и изливи. Спаѓаат во најстарите вулкански карпи на овие простори, па често се и самите пробиени со помладите дацито-андезити. Се разликуваат од околните карпи со својата сиво-зеленинава боја и изразена порфирска структура. Фенокристалите им се алтерисаните плагиокласи (андезин, со 35-40% ас) амфибол, биотит, кварци аугит. Зафатени се со серицитизацијата, карбонизацијата и силификацијата.

Немаат поголемо значење од хидрогеолошки аспект.

*Дацити и андезити* - Под овој назив издвоени се дацитско-андезитски карпи, кои имаат релативно варијабилен состав, но просторно чинат целина. Сочувани се околу поголеми вулкански центри - остатоци од некогашните калдери, односно нивните ободни делови и тоа на локалитетите: Плавица - Златица, Црни Врв и Боровиќ.

Тоа се постари, веројатно олигоценски или олигомиоценски карпи, кои се по содржината на боените и акцесорните состојки многу слични. Само варирањето на содржината на главните минерали (кварц и фелдспат) и структурата влијаат тие да се сврстат во дацити или андезити. Редовно се пропицитизирани, но и знатно алтерисани, со знатна содржина на глиновита компонента, серицит, хлорит, калцит и пирит. Често се испресечени со "роеви" на помлади дацитски дајкови, а во некои случаи и се обично потенки олово-цинкови рудни жици.

Постарите пукнатини во нив исполнети се со тенки дајкови или калцитски жилички, а помлади со каолинските минерали, така да се слабо пермеабилни за атмосферилите и без поголемо значење од хидрогеолошки аспект. Отворените пукнатински системи, нешто се почести само таму каде се присутни и рудоносните структури.

*Игнимбрити од дацитски состав* - Игнимбритите се, воопшто земено, многу распространети на овој простор, особено на неговите централни и источни делови. Тие имаат големо и хоризонтално и вертикално распространение.

Овој вид на игнимбрити, кои имаат претежно дацитски состав се, суперпозиционо гледано, најстари игнимбрити во овој простор. Исфрлувани се веројатно во текот на миоцен, а чинат најголем дел од ЈИ дел од овој простор, околината на Кратово, па помеѓу селата: Горно Кратово, Луково и Добрево. Тие западно со помладите (плиоценски) игнимбрити од дацитско-андезитски состав, чинат најголем дел од масата на вулканските карпи, кои се издвојуваат како така наречени горен структурен кат и заедно со интерстратификуваните други вулкански или вулканогено-седиментни карпи во нив, ја чинат главнината на карпестите маси кои го изградуваат кровинскиот изолатор за термоминералните води на овој простор. Игнимбритите со дацитски состав, на споменатиот простор, најчесто лежат преку различни

палеозоиски шкрилци, или најстарите андезити, во вид на големи маси, кои имаат изразено паралелопипедно лачење. Обично се цврсти и доста свежи. Имаат сиво - розеникава боја. Понекогаш се покриени со миоценските седименти, или со андезитските туфови или бречи. Често во себе содржат енклави од метаморфни карпи, некогаш меремери, па и гранодиорити од фундаментот.

Имаат идентичен состав на нормални хорнбленда биотит дацити или кварцлатити. Изградени се од фенокласти на плагиоклас, биотит, кварц, хорнбленда, со варијабилна количина на санидин и аугит. Структурата им варира од хипокристалеста до стаклеста и витрокрасична, со појави на флуидалноста. Локално се зафатени со хидротермални алтерации.

Врз основа на начинот на појавувањето, составот, бојата и лачењето, некои афтори, издвојуваат меѓу нив повеќе варијетети, што нема ниту доволен основ, ниту суштинско значење.

Доста обемни испитувања на пукнатински системи во овие карпи и нивните хидрогеолошки својства и значенија, покажаа покрај останатото, дека вкупната минимална ефективна порозност во нив изнесува  $e = 0,65\%$ .

*Бречи од дацитски состав* - се јавуваат во вид на помали маси преку игнимбрите. Сочувани се на највисоките делови од теренот, на краен источен дел од овој простор, на ридовите: Буковац, Уши, Голем Рид и Потес. Тоа се претежно цврсти карпи, со црвеникава боја, доста силификувани и изменети. Содржат анклави од постари вулкански карпи. Површински изгледаат шуплики. Веројатно се формирани во водената средина заситена со силициум. Местимично се доста лимонитизирани и испресечени со тенки дајкови од помлади вулканити. Дебелината им достигнува до 150 m.

Вулкански (андезитски) бречи имаат најголемо распространение во централниот и западниот дел од овој терен. Имаат широко распространување во атарите на селата: Орах, Руѓинце, Страцин, Пендак и Димонце, а потоа на западен дел на Туралевски Кратер. Уште поголемо непрекинато распространување имаат на просторот помеѓу селата: Белановци, Мургаши, Коњух и Пезово и натаму према исток преку селата Татомир до западните и јужните падини на Црни Врв.

Лежат преку туфовите хорнбленда - аугит - биотит - андезитите, а понекогаш и директно преку постарите седиментни или метаморфни карпи. Местимично се покриени со хорнбленда аугит андезит и игнимбрите од андезитски состав. Во овие бречи на неколку локалитети запазени се леќи од бигровити варовници, што покрај останатото укажува на повеќефазно исфрлање на овој пирокластичен материјал.

Во нив се приметени и повеќе лавични сливови од аугит - хорнбленда биотит андезити. Изградени се од парчиња на андезити, кои се цементираны со туфен материјал. Воглавно се добро стратификувани, што укажува на тоа дека се таложени во водената средина. Најчесто

залегаат кон СИ под агли од околу 20°. Дебелината им се движи околу 200 m. Во овие бречи не се приметуваат тектонските нарушувања, ниту изразените пукнатини, а со оглед дека немаат изразена ниту порозност, слабо се пермеабилни за водата.

*Аугит хорнбленда биотит андезити и лабрадорски андезити* - Оваа фација на андезити има знатно распространение на просторот од селата Сакулица, преку селото Филиповци, северните падини на Црни Врв, до источните и јужните падини на планината Плачковица. Овде тие се јавуваат обично како пробои низ олигоценски или миоценски седименти, но и во вид на сливови и плочи, преку средноолигоценски туфни песочници и средномиоценските седименти.

Свежи партии од овие карпи се цврсти и масивни, со сива и виолетова боја и порфирска структура. Имаат изразено лачење, но има и партии со флуидална текстура. Во базата на овие карпи се сливните бречи со сличен состав, што укажува на различни режими на изливањето. Во овие карпи, воочени се бројни раседни зони и интензивни хидротермални промени (каолинизација, силификација и др.) на голем простор, посебно кај селото Сакулица.

Во нив се застапени плагиокласи-олигоклас-андезин (со 30 - 32% ас) , хипидиоморфен аугит и призматични зрна на хорн-бленда и биотит.

На неколку локалитети, како на пример на јужните падини на Црни Врв и Плавица, околу селата Горни Стубол, Маричино и Кундино, заедно се аугит хорнбленда биотит андезити или директно над нив, лежат остатоци од изливни плочи на тн. лабрадорско-аугитски андезити, кои се помлади (веројатно плиоценски) и побазични карпи (до 50% аi). И овие карпи обично се силно хидротермално изменети (силификувани и каолинизирани), што укажува на тоа, дека се хидротермалните и солфатарско-фумаролски акции делувале по нивното образување.

Инаку, овие карпи се сметаат за најмлади изливни карпи на овој простор.

*Дациитоиди - кварцлатити* - На западниот дел од овој терен, на повеќе места, познати се поголеми или помали субвулкански пробои на доста свежи карпи, со прилично варијабилен петрографски и хемиски состав, односно од кварцлатити (санидински дацити) до нормални андезити; Имаат холокристалеста порфирска структура, со фенокристали на плагиокласи (35 - 40% ас) често свежи санидини и хорнбленда, биотит и бипирамидален кварц. Боените состојки и основната маса, зафатени се со алтерација (аргилитизација, силификација).

На сите места каде се јавуваат, тие се цврсти карпи, отпорни на атмосферии но знатно испукани, а на контактот со околните седиментни карпи интензивно се хидротармално изменети и пиритизирани. Најголемата маса на овој вид карпи, позната е на ридот Здравчи Камен и на левиот брег на Кратовска Река спроти селото

Живалево. Од овој вид се, изгледа, и оние свежи карпи кои се наоѓаат во засекот на патот, пред влезот во селото Железница. Помали свежи пробои на овие карпи познати се на многу места во планината Пластица и нејзината поблиска околина, каде се изгледа, во врска со полиметаличните оруднувања на овие простори. Вакви карпи можат да се најдат и на многу други места на овој терен, во вид на свежи и по димензии неголеми пробои.

Нашето мислење е дека подлабоките делови од овие млади субвулкански пробои, веројатно имаат суштинско значени од аспект на можните грејни тела за термоминералните води во подлабоките делови од овој простор, поради што во идните истражувања би требало да им се обрне поголемо внимание.

*Игнимбрита од андезитско-дацитски состав* - имаат големо распространување особено во централните, северните и јужните делови од овој терен, посебно во атарите на селата Бељаковци, Страцин, Коњух, Шопско Рудари, а потоа помеѓу селата Опила и Кратовска Река и изолирано во околината на Кратово.

Овие игнимбрита претставуваат последната - третата фаза на игнимбрита во Кратовско-Злетовската вулканска област. Лежат обично преку вулканогено - седиментните бречи и туфни песочници. Во подолните делови имаат повеќе туфогено-песочнички карактеристики, а во погорните делови се прави игнимбрита. Имаат знатна цврстина и се јавуваат во вид на поголеми плочи, меѓу кои понекогаш има и сливови од прави андезити. Во основната маса често се сретнуваат сварени анклавии на андезити. Дебелината им е најчесто помеѓу 100 - 200 m. Обично се малку испукани и слабо порозни, поради што се слабо пермеабилни за атмосферилите.

Заедно со постарите видови на игнимбрита, ја сочинуваат главнината на карпите кои го изградуваат изолаторот за термоминералните води во овој простор.

*Хорнбленда - аугит - биотит андезити* - Спрема извесни податоци на геолозите кои работеле (картирале) на овој простор, андезитите имаат најголемо распространение во централниот дел на овој простор, посебно во атарите на селата Руѓинце, Пендак, Куклица, Ќетеново, Шопско Рударе и Трновац, а потоа во рамките на поблиската околина на Туралевски Кратер. Меѓу фацијалните видови на овие карпи, изгледа дека се најраспространети "хорнбленда - биотит - андезити и хорнбленда - аугит - биотитски андезити".

Меѓутоа, кога би пробале подетално да ги определиме границите помеѓу поедини фацијални видови на дацитско-андезитски (или само андезитски) карпи т.е. нивните различни диференцијати, би се сретнале со значителни тешкотии. Истото се однесува и на проблемот на определување на сукцесија на образованието на овие карпи.

Имено, често постои битна несогласност помеѓу авторите кои картирале на овој терен, во поглед на детерминација на овие па и на други видови на ефузивни карпи, што е до некаде и логично ако се зема во предвид фактот на осетни варијации во составот на овие карпи, дури и кога се тие продукт на само една фаза на исфрлувањето. На пример, определување со поединечни или повеќе петрографски препарати да во дотична карпа преовладува хорнбленда, аугит или биотит е прв критериум за нејзиното сврстување во овој или оној вид на дацити, андезити или игнимбрита. Од друга страна, скоро редовно присутната пропицитизација или различни видови на хидротермални промени во карпите, го менуваат и составот и структурата на првобитната карпа, особено и поради тоа што се тие промени различно изразени често и на многу кратки растојанија.

Од тука произлегува дека и во иднина потребно е на овој проблем сериозно да се работи, со цел со повеќе внимание да се пристапува кон детерминација на овие карпи и кон нивната класификација во денеска важечките систематика на вулканогените карпи. Овој проблем има, покрај останатото, и полемо практично значење при истражувањето на сите видови на минерални сировини, а како што се гледа и во истражувањето на геотермалните потенцијали на овој, па и другите перспективни простори.

Во една ваква ситуација, а во условите на повеќефазна вулканска активност која била многу долготрајна на овие простори, ние, за сега, констатираме дека андезитските карпи, чии состав варира помеѓу оние кои се одредени како хорнбленда биотит аугит андезити и хорнбленда биотит андезити, имаат најголемо распространение меѓу другите видови на андезитско-дацитски карпи на овој простор и дека нивните подлабоки делови спаѓаат меѓу најстари, а делови поблиски до површината на теренот во најмлади андезити на овој терен.

Некои "варијетети" на овие карпи се јавуваат во вид на вулкански сливови и плочи, а други, особено помлади андезити, во вид на доста свежи пробои низ околните седиментни, вулканогено-седиментни или постари вулкански карпи.

Овие карпи имаат секако големо значење во градбата на овој терен, а најмладите пробои и од аспект на можните грејни тела за термоминералните води.

*Хијалоандезити* - За распространението на млади вулкански карпи со знатна содржина на стаклестата супстанца во нивната основна маса, различни автори имаат различни гледања. Некои автори делумно ги сврстуваат во исто така млади хорнбленда аугит андезити. Содржината на стакло во нив е варијабилна и понекогаш оди и преку 50% во основната маса. Се јавуваат најчесто во вид на изливи, со изразено паралелопипедно лачење, а преку лиоценските седиментни или вулканогени карпи. Имаат светлосива до црна боја. Распространети се

особено северно од селото Татомир, а потоа во помали маси помеѓу селата Пезово и Коњух и на западните падини на Црни Врв. Нешто поголеми маси на овие карпи, познати се и СЗ од селото Бељаковци, а потоа и во атарот на селото Руѓинце.

*Хијалоандезитски туфови* - имаат сличен состав со хијалоандезитите. Често се толку опализирани да чинат преод кон прави опалски бречи. Најчесто се доста трошни, а кога се силно опализирани тогаш се жилави и цврсти. Имаат обично црвенинава до кафена боја. Ги има во нешто поголеми маси само помеѓу селата Шопско Рудари и Крива Река.

*Перлити* на овој простор имаат сосема ограничено распространение и тоа само во атарот на селото Секулица, посебно кај маалото Вукадиновци. Изразено стаклеста природна вулканска творевина - перлитите, овде се јавуваат најчесто во рамките на субвертикални исполнувања на раседни зони, со дебелина од неколку десетици сантиметри, па до околу 5 m., а во вид на често типични дајковидни исполиувања. Образувани се блиску до површината на теренот, во условите на брзо ладење. Имаат обично сивкасто-жолтеникава боја и стаклести прелом.

Како изразито млади (квартарни) творевини, можат веројатно да послужат при толкувањето на локализација на геотермално значајни простори од аспект на грејни тела за термоминерални води.

*Диоритпорфирити* (микродиорити). Уште при картирањето на овие терени, а и при истражувањето на полиметаличното оруднување на локалитетот "Боровиќ", запазени се повеќе пробои на млади свежи карпи во рамките на Туралевски Кратер и во долината на Анска Река (околу 2 km JJЗ од селото Сакулица), кои се наречени микродиорити од монцонитски тип, односно диоритпорфирити. И на двата локалитета тие ги пробиваат и најмладите карпи на овие локалитети, во вид на помали или поголеми дајковидни магматски тела.

По својот изглед, тоа е темно сива, цврста и компактна карпа, со знатна количина на боени минерали и со порфирска структура. Под микроскоп се гледа дека е составена од зонарни слабо алтерисани средно базични плагиокласи, аугит кој е делумно претворен во амфибол, додека биотитот е редок. Основната маса е изразито крупнозрна и изградена од плагиокласи, сенундарни агрегати на кварц и од алтерисаните феромагнезиски состојки, кои често се заменети со епидот и калцит.

Ободните делови на овие млади диорит порфиритски пробои, а и околните карпи, обично се знатно хидротермално изменети (каолинизирани, калцитизирани, силифинувани, аместимично и пиритизирани и со екстензивно присутна полиметалична минерализација).



Постоењето на овие карпи овде, може да биде многу значајно од аспект на идентификација на простори во кои веројатно се локализирани грејни тела на термоминералните води во овие простори. Поради тоа, тие во идните истражувања треба да бидат посебно проучувани. Неопходно е, покрај останатото, на нив да се вршат изотопски испитувања и да се одреди нивната апсолутна старост.

Опалски бречи - имаат мало распространение на овој простор (во атарите на селата Бељаковци, Стрезовци и Шопско Рударе), но и знатен број на поединечни локалитети каде се тие лоцирани. Обично се врзани за зоните на млади тектонски движења. Овде се образувани од парчиња на андезити и нивните туфови, потоа други околни карпи, кои се под силни притисоци прво рекристализирани, а потоа под влијание на постмагматски хидротермални раствори, по пат на метасоматозата, преведени се во скоро мономинерална карпа, изградена од опал, а понекогаш и со примеси на калцедон.

Зависно од примесите, бојата им е најчесто црвена, потоа жолтенинава, понекогаш скоро црна, но постојат и светло-сиви до сосема бели варијатети (ЈИ од селото Стрезовци). Обично имаат остри граници спрема околните карпи.

Образувањето на различни видови на опалити во централните и западните делови од овој простор, веројатно завлегува во плеистоцен, и како една од последните поствулкански творевини, може да укаже на делови од просторот со изразени позитивни температурни аномалии, т.е. да послужат како еден од индикаторите за присуството на "плитко" лоцирани грејни тела во овој простор.

*Силекс* - *секундарни кварцити* - претставуваат една од најзначајните поствулкански творевини на свој простор, Тие се образувани по пат на долготрајно метасоматско влијание на хидротермални и солфатарско - фумаролски процеси на околните дацито - андезити и нивните туфови. Процесот на метасоматозата отишол толку далеку, така да силексните рудни тела често се изградени и до 99% од  $\text{SiO}_2$  супстанца.

Силексот има значително распространение на највисоките делови на Црни Врв (каде се експлоатира) и на Плавица, каде се јавува во вид на субвертикални тела, чии корени делови се констатирани и на повеќе стотици метри по длабина. Помали тела или "жици" од силекс секундарните кварцити можат да се најдат и долж на некои раседни зони во околината на Црни Врв (на ридот Горун, кај селото Плешинци и др. ) и во рамките на Туралевски Кратер.

Силекс-секундарните кварцити претставуваат една од најмладите поствулкански творевини на овој простор, чие образување завлегува веројатно длабоко во квартал. Нивното постоење овде може да биде додатен индикатор за геотермалната потенцијалност на овој простор кои би требало во иднина во тој поглед подетално да се проучи.

Овде ќе наведеме еден интересен податок, дека во една истражна дупнатица на високиот дел од Црни Врв, која е дупчена заради проверка на геохемиските аномалии на полиметаличното оруднување, блиску до реверот "Ајдучко Кладенче", на нејзината длабочина од 100 m, измерена е температурата на средината од 19°C.

#### **9.4. Плутонски карпи**

Плутонските карпи во подлабоките делови на овој простор, според досегашните сознанија, се класифицирани како гранодиоритски.

Овие заклучоци се добиени посредно, преку постоењето на изливите и субвулканските еквиваленти на една ваква "изворна" магла - различни варијетети на дацитот - андезити, но и со постоењето на анклави на длабински карпи од овој вид, а се најдени претежно во ингинбрите.

Длабината на која се наоѓа гранодиоритскиот фундамент во овој простор, за сега се прогнозира само врз основа на извесни геофизички податоци ( гравиметрија , магнетизам), и општи геолошки претпоставки.

Имено, врз основа на податоците на регионалните геофизички испитувања, заклучено е дека се горните делови на претпоставениот гранодиоритски интрузив најблиски до површината на теренот во три подрачја во рамките на Кратовско – Злетовската вулканска област, од кои е едниот токму во овој простор – во подрачјето помеѓу Црни Врв и Боровиќ . Другиот е како што се гледа, во правец на СЗ, во подрачјето на Средорек (во чија близина е и новопронајдената термоминерална вода во долината на реката Пчиња - кај селото Стрновец ). Овој податок, покрај останатото, оди во прилог на поголема геотермална потенцијалност на овие простори.

Длабината на која би можело да се прогнозира постоење на гранодиоритски плутон во овој простор, врз основа на досегашните геолошки и геофизички сознанија и податоци, вероватно е околу или над 1. 500 m. Барање докази во овој правец, по пат на подетални геофизички испитувања во иднина, или, уште подобро, со дупчење на подлабоки истражни дупнатини, ќе има фундаментално значење за идентификација на грејните тела за термоминерални води во овие простори, за процена на петрогеотермална (литогеотермална) потенцијалност, т.е. за што погледна оцена на геотермалната потенцијалност на овие простори воопшто.

Длабочината на гранодиоритскиот плутон во овој простор, врз основа на досегашните геолошки и геофизички сознанија и податоци, веројатно е околу или над 1 500 m.

## 10.0 ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕПОСРЕДНАТА ОКОЛИНА НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ”

Геолошката градба е хетерогена и во основа се состои од вулкански материјали, туфни бречи, песочници и лапорци и др. Сите овие карпи почнувајќи од полигиоценските туфни бречи преку песочниците и лапорците се пробиени со биотит аугитски андезити, хорнбленда андезити а често пати преку овие карпи се забележуваат и помали изливи во вид на поголеми или помали плочи.

Во геолошката градба на потесната околина на геотермалниот систем Здравевци учествуваат следните типови на карпи: биотитски андезити, андезитски бречи, туфогена серија, аугит андезити, диорит порфирити и алувијални седименти (Слика 19).

Посебен проблем претставува идентификацијата и положбата на гранидиоритските плутонски карпи во подлабоките делови на овој простор, истите не се појавуваат на површината на теренот, нивното постоење се прогнозира на индиректно врз основа на одредени геофизички податоци (гравиметрија и магнетизам).

*Биотитските андезити* имаат најголемо распространување на истражуваниот простор и истите го изгледуваат централниот и западниот дел од теренот (Смрека, Голак, Осоје). Овие карпи се јавуваат во вид на вулкански сливови и плочи, а други, особено помладите андезити, во вид на доста свежи пробои низ околните седиментни, вулканогено-седиментни или постари вулкански карпи.

Овие карпи имаат секако големо значење во градбата на овој терен, а најмладите пробои и од аспект на можните грејни тела за термоминералните води.

*Аугит андезитите* имаат многу мало распространување и се јавуваат во вид на мали пробои во југоисточниот дел од теренот во близина на Здравевска Маала. Оваа фација на андезити има знатно распространување на просторот од селата Сакулица, преку селото Филиповци, северните падини на Црни Врв, до источните и јужните падини на планината Плачковица. Свежите партии од овие карпи се цврсти и масивни, со сива и виолетова боја и порфирска структура.

*Вулкански (андезитски) бречи* имаат големо распространение во централниот и источниот дел од овој терен. Имаат широко распространување на локалитетот Боровиќ, а потоа на западниот дел на Туралевскиот Кратер.

Лежат преку туфовите, хорнбленда – аугит – биотит - андезитите, а понекогаш и директно преку постарите седиментни или метаморфни карпи. Местимично се покриени со хорнбленда аугит андезит и

игнимбрити од андезитски состав. Во овие бречи на неколку локалитети запазени се леќи од бигровити варовници, што покрај останатото укажува на повеќе фазно исфрлување на овој пирокластичен материјал. Во нив се приметени и повеќе лавични сливови од аугит-хорнбленда биотит андезити. Изградени се од парчиња на андезити, кои се цементираны со туфен материјал. Воглавно се добро стратификувани, што укажува на тоа дека се таложени во водената средина. Дебелината им се движи околу 200 m.

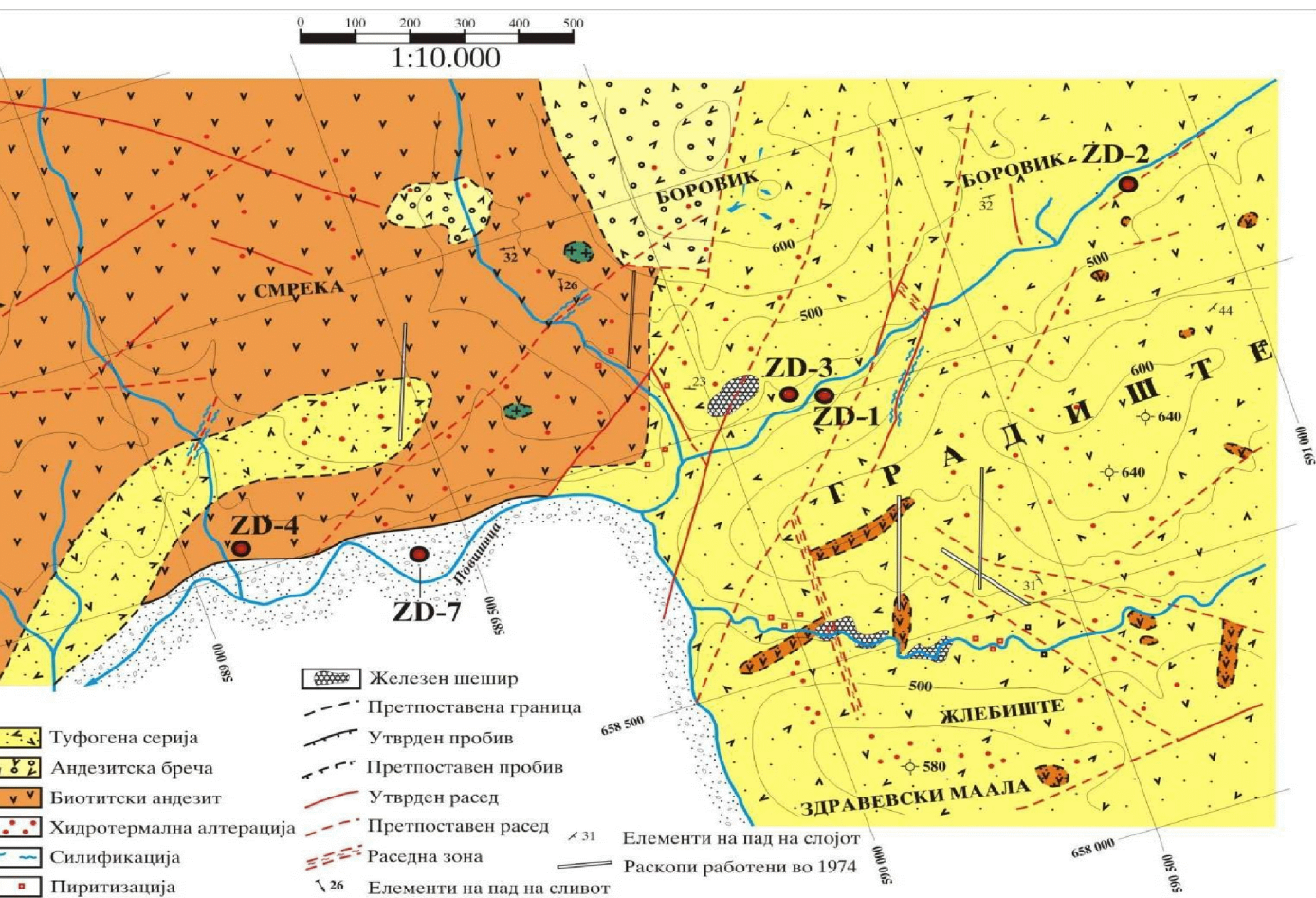
*Туфогената серија* се сретнува во јужниот и североисточниот дел од теренот. Туфогената серија е претставена со андезитско – дацитски туфови, песочници, конгломерати, игнимбрити со различен состав.

*Диоритпорфирити* (микродиорити). Уште при картирањето на овие терени, а и при истражувањето на полиметаличното оруднување на локалитетот "Боровиќ", запазени се повеќе пробои на млади свежи карпи во рамките на Туралевски Кратер и во долината на Анска Река (околу 2 km јужно од селото Сакулица), кои се наречени микродиорити од монцонитски тип, односно диорит порфирити. И на двата локалитета тие ги пробиваат и најмладите карпи на овие локалитети, во вид на помали или поголеми дајковидни магматски тела.

По својот изглед, тоа е темно сива, цврста и компактна карпа, со значителна количина на боени минерали и со порфирска структура. Под микроскоп се гледа дека е составена од зонарни слабо алтерисани средно базични плагиокласи, аугит кој е делумно претворен во амфибол, додека биотитот е редок. Основната маса е изразито крупнозрна и изградена од плагиокласи, сенундарни агрегати на кварц и од алтерисаните феромагнезиски состојки, кои се често заменети со епидот и калцит. Ободните делови на овие млади диорит порфиритски пробои, а и околните карпи, обично се знатно хидротермално изменети (каолинизирани, калцитизирани, силифинувани, а местимично и пиритизирани и со екстензивно присутна полиметалична минерализација).

*Алувијалните наноси* се сретнуваат во корито на Крива Река понекогаш достигнува дебелина и до 10 m. Алувијален материјал е застапен и во долниот дел на големите притоки на Крива Река, како во: Кратовска Река, Ветуница, Повишница, Врлеј Дол, Држава и Живуша.

На сликите 19 и 20 се дадени прогнозни геолошки профили од кои може да се согледа положбата, застапеноста и длабината на простирањето на главните типови на карпи на истражуваното подрачје.



Геолошка карта на локалитетот Боровик и неговата непосредна околина (Клајн, 1974)  
Geological map of the Borovik locality and its unaffected surrounding (Klajn, 1974)

## 11.0 ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Карпестите маси од кои е изградена пошироката околина на геотермалниот систем “Здравевци”, според нивната хидрогеолошка функција издвоени се на;

- ❖ хидрогеолошки изолатори и
- ❖ хидрогеолошки колектори

Во однос на хидрогеолошките изолатори може да го кажеме следното:

Во текот на долготрајната и повеќефазната вулканска активност (од еоцен до плеистоцен), и разновидните изливи на дацито - андезити и ингимбрити, образуваани се широко распространети, повеќефазно одложувани, разновидни вулканогено - седиментни творби. Исто така имаме одложување на добро стратификувани, најчесто пелитски туфови, со примеси на териген материјал од околината.

Овие творби (заедно со другите вулканити) имаат примарно значење како извонреден пластичен покривен изолатор за сите хидротермални флуиди на овој простор. Исто така предпалеозоиските и старопалеозоиските кристалини, кои претставуваат фундамент на сите помлади карпи на овој простор, претставуваат подински изолатор на Геотермалниот систем “Здравевци”.

Додека во однос на хидрогеолошките колектори ќе го кажеме следното:

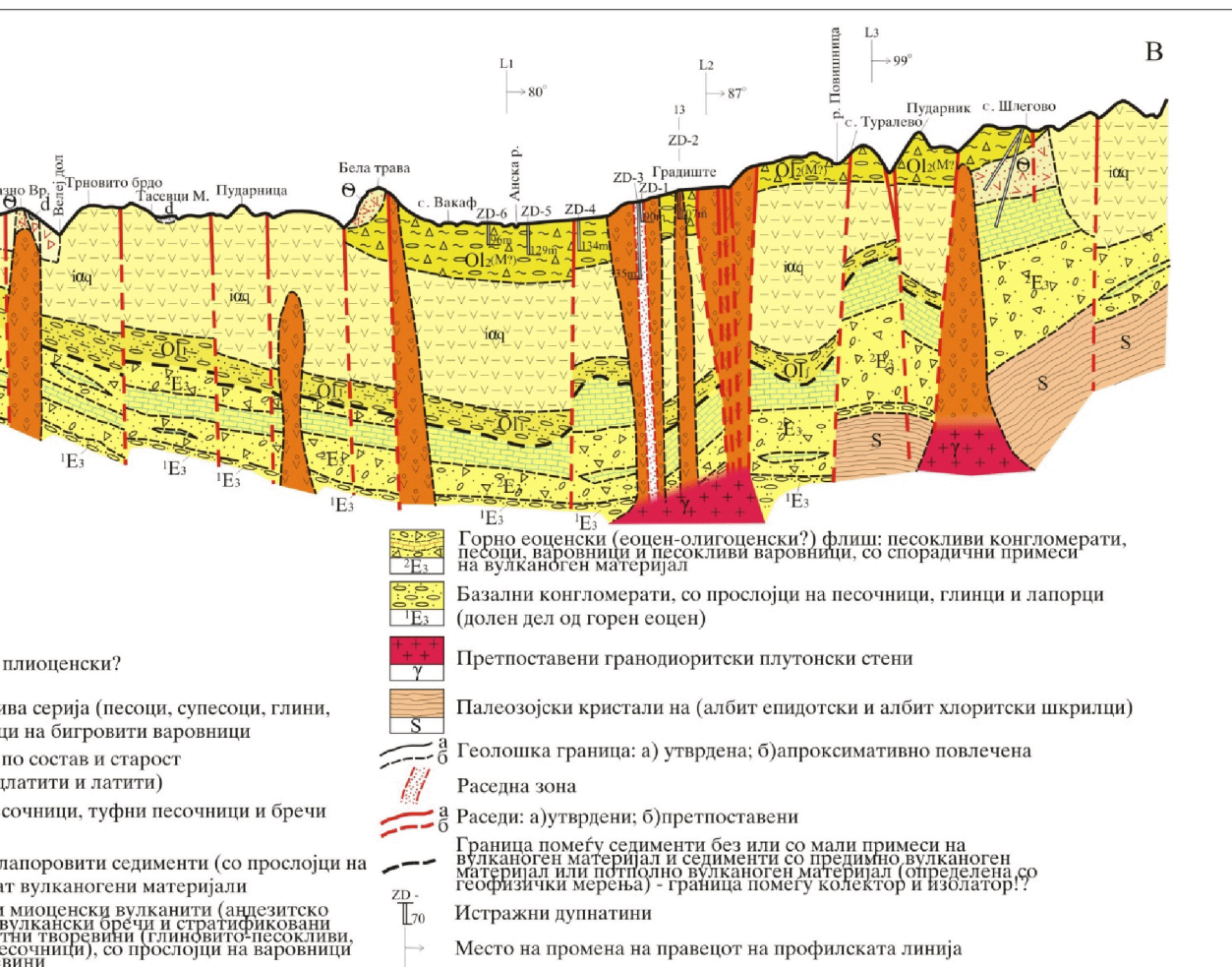
Најгорниот дел на колекторот на ГС “Здравевци”, е изграден, без сомнение, од дебели пластови на еоцен - олигоценски флишни творби, кои имаат широко распространување во јужниот и југозападниот периферен дел на ГС “Здравевци”, тие се добри колектори за хидротермални флуиди. Нивната дебелина изнесува од неколку десетици сантиметри до десетици метри, а во некои случаи и преку 100m (дупнатина бр. 571 с. Шлегово).

Според тоа вкупната дебелина на колекторските карпи, односно колекторот на Геотермалниот систем “Здравевци”, изнесува и до 1 000m.

Тука ќе ги споменеме зоните на прихранување, односно зоните на инфилтрација на вадозните води во ГС “Здравевци”, во најголем дел се изградени од споменатите широко распространети еоценско - олигоценски творби, јужно и западно од него, односно во пределот на северниот дел на Овче Поле, па се до устието на Крива Река во Пчиња.

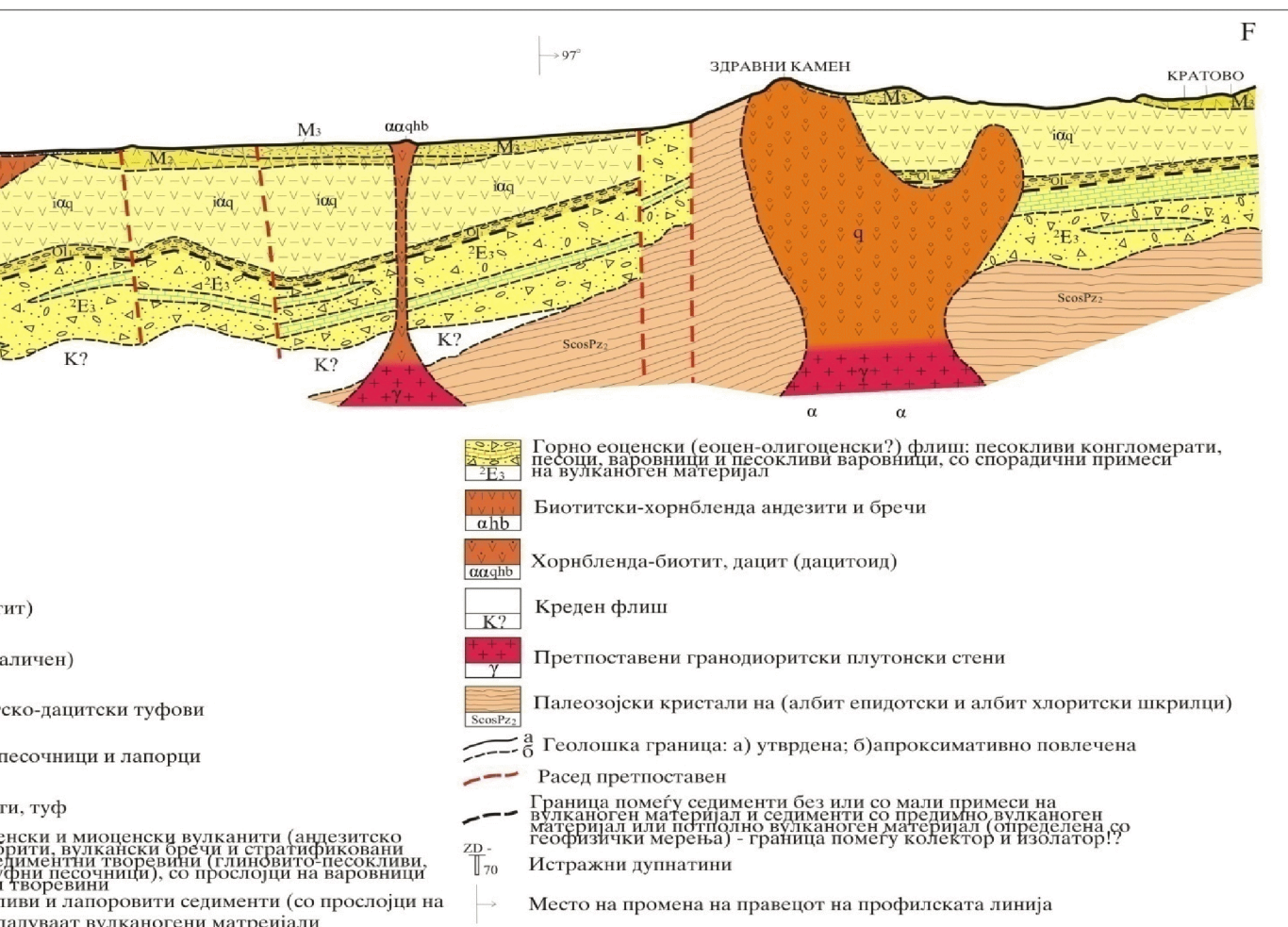
Додека помал дел од вадозните води се инфилтрираат и преку мал број на отворени тектонски пукнатини, како и вертикалните раседи, во околината на ГС “Здравевци”.





Предвиден геолошки профил A-B на термоминералните води Здаревци (Ракиќ, 1995)  
 Predicted geological profile A-B of thermo mineral water Zdravevci (Rakic, 1995)





прогнозен геолошки профил Е-Ф на термоминералните води Здравевци (Ракиќ, 1995)  
predicted geological profile E-F of thermo mineral water Zdravevci (Rakic, 1995)

Меѓутоа, важно е да се напомене дека со хидрогеолошките истражувања се “покрива” просторот во правец на запад, само приближно до онаа линија блиска на местото каде Повишница се влива во Крива Река т.е. помалку од половината на просторот, за кои веќе денеска сметаме дека го завзема хидрогеотермалниот систем “Здравевци”. Оттаму, произлегува дека и во идните истражувања треба да се планираат и натамошни пообемни и постудиозни хидрогеолошки истражувања, чија функција би било првенствено усмерена кон оние хидрогеолошки манифестации, кои можат да имаат поголемо значење од аспект на прихранување на хидрогеотермалниот систем “Здравевци” со метеорските води, односно од различни извори на издани или позначајни површински водотекови. Во тој правец особено ќе биде од корист да се подетално проучат оние типови на порозност, кои можат да имаат особено значење за инфилтрација на површинските води кон хидрогеотермалниот примарен колектор на геотермалниот систем “Здравевци” (интергрануларна и пукнатинска порозност), и веројатно и кавернозност кај оние карпести маси кои имаат карбонатно врзиво или кои имаат карактеристики на прави варовници, односно мермери.

Во таа насока од значење ќе бидат и оние хидрогеолошки истражувања кои би имале за цел разјаснување какво значење имаат поедини раседи или раседни зони, посебно во врска со евентуално изразените неотектонски движења во или околу нив, кои би можеле да имаат улога на транзитни патишта за површинските води кон примарниот колектор, односно транзитни патишта со затоплени термоминерални води кои се под хидрауличен притисок движат од примарниот колектор до површината на теренот.

При реализација на овие хидрогеолошки картирања, посебно би требало да се води сметка за специфичностите на овие терени, така да бидат апострофирани и геотермички проблеми (зони на прихранувањето, на празнењето, локацијата на можните грејни тела, длабина на инфилтрирањето на атмосферските патишта на десцедентните и асцедентните води, потоа хидрохемиските и хидротермалните аспекти на хидрогеотермалниот систем и слично).

## **12.0 ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ**

Теренот кој е во последните години предмет на истражувања, т.е. околината на Кратово, а особено пошироката западна околина на Кратово, претставува северен и северозападен дел од Кратовско - Злетовската област и нејзиниот контактен дел од кристалините на Српско - Македонската маса.

Најголем дел на авторите токму на овие простори ја лоцираат и границата помеѓу Српско-Македонската маса и Вардарската зона, кои овде се раздвоени со една дислокација од регионален карактер. Оваа

граница Цвијиќ ја нарекол: Главна раседна линија на Балканскиот Полуостров, која оди од Рудник во Србија до Солунски Залив и има најчесто правец ССЗ - ЈЈИ.

Меѓутоа, колку ни е познато, ниту еден од авторите до сега не успеал попрецизно да ја лоцира ова граница на овие простори, со оглед на тоа што се таа губи во Кратовско - Злетовската вулканска област, а на ЈИ во Кочанската котлина.

Извесен исклучок претставува работата на Вукашиновиќ кој најчесто врз основа на резултатите од аеромагнетните и гравиметриските испитувања, ова граница на подрачјето на Македонија доста прецизно ја лоцира долж правецот: Дојран - Струмица – Радовиш - Подлог - Средорек кон Прешево и натаму во Србија. Во рамките на Кратовско - Злетовската вулканска област, ова граница оди, западно од Кочани (Долни Подлог), па во правец на СЗ преку Туралевскиот Кратер и Средорек кон Прешево. Патем, веднаш да скренеме внимание, дека токму на ова дислокација лежат термоминералните води во Кочанската котлина, новооткриените термоминерални води во Кратовско (Здравевци) и во коритото на реката Пчиња (Стрновец).

Што се однесува до структурно - геолошката градба на овој терен, може да се каже дека многу проблеми во тој правец допрва треба да се решаваат. Имено, при објаснувањето на еволуцијата на Кратовско - Злетовската област, поновите сваќања, поаѓаат од констатација дека: Кратовско - Злетовската област во геотектонски смисол, претставува потполно индивидуален сегмент на Внатрешно Динарско подрачје, кој припаѓа на геотектонската единица на Вардарската зона. Еволуцијата на овој простор врзана е за генетските особини на Вардарската зона, која по својата генеза претставува една изразено мобилна линеаментна зона. Подрачјето на метаморфниот комплекс во структуролошки поглед, се карактеризира со доминација на пликативни структурни облици, додека во вулканогениот комплекс преовладуваат дисјуктивните облици. Систем на ободни линеаменти обилува со низа на реверски раседи, долж кои во различни компресиони фази на Алпската орогенеза дошло до хоризонтални преместувања на карпестите маси, додека во помладите фази, кои се одликуваат со декомпресии, формирани се длабоки разломи, кои претставувале канали за издигнување на ерупции на огромни количини на магматски маси, кои се сливале во новонастанатите депресији, каде се вршела и интензивна седиментација. Помладиот вулкански покрив ја прекрил старата мозаички разбиена кристалеста основа.

Врз основа на едно вакво, сметаме корекно сфаќање, се изведува заклучок за постоење на два основни структурни ката во Кратовско-Злетовската област: Долни структурни кат, во кој влегуваат старопалеозојските кристалини на фундаментот и ободниот дел на кристалинскиот комплекс на Српско - Македонската маса, и Горни

структурни кат, претставен со комплекс на вулканогени и вулканогено - седиментни творевини.

Ваквата поделба можеби е и коректна за просторот на северниот и СИ ободен дел на КЗ област, но не и за останатите нејзини делови. Имено, како што видовме порано, помеѓу кристалинскиот и (или) плутонскиот фундамент и серија на вулканитите, се наоѓаат големи маси на еоцен - плиоценски седименти, чија дебелина во некои делови на овој простор веројатно значително преминува и 1. 000 m. Притоа, не е сосема извесно и дали еоценските творевини лежат секогаш директно преку кристалините, или, можеби, преку горнокредните варовници, песочници и лапорци. Кредните седименти не се никаде познати на овој терен, но имаат битно распространение на источниот дел од Скопска Црна Гора и во горниот слив на р.Пчиња, поради што не е исклучено нивното постоење и во подлабоките делови на овој терен.

Не навлегувајќи подетално во геолошката историја на создавањето на овој простор, ќе се осврнеме нешто повеќе на основниот структурен елемент кој има битно значење за објаснување за геотермалните, односно хидрогеотермалните ресурси на овој простор (првенствено колекторот).

Имено, врз основа на сите достапни податоци за овој терен, кои потекнуваат од повеќе автори, посебно од геолозите кои геолошки ги картирале овие терени, а и од она што може да се забележи со внимателни опсервации на теренот, видно е дека еоценско - олигоценските седименти, генерално гледано, и во правец на запад (во близина на р. Пчиња) и во правец на југ и север, залегаат приближително кон коритото на Крива Река, најчесто под агли од  $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ . На тој начин тие прават една синклинална форма, која Карајовановиќ и Христов ја нарекле Криворечка синклинала, која е во основа изградена од горноеоценските флишни седименти, кои се добро откриени на нејзиното ЈЗ крило, додека СИ крило е покриено со ефузивен материјал, а и посилено е дислоцирано. Оската и е ориентирана во правец СЗ - ЈИ. По овие автори, таложењето на палеогените седименти завршува во среден олигоцен, така да миоценските седименти лежат дискордантно преку нив и имаат скоро хоризонтална положба. Натаму, тие констатираат дека ефузивниот комплекс лежи во привидна синклинална положба, поради еден систем на повеќе раседи на линијата с. Стрезовци (наоѓалиште на опалска бреча Бељаковци) - Голо Брдо.

За жал, авторите на листот Кратово (ОГК 1 : 1 00.000 ), не ја проследиле ова синклинала во правец на исток - кон Кратово и околината, каде е таа, додуша, во голема мерка, разбиена со накнадните тектонски движења, најчесто со субвертикални раседи и раседни зони од различна старост и протегање, долж кои често и повеќефазно доаѓало до исфрлување на огромни количини на дацито - андезити и нивните пирокластички. Додатно

локално реметење на првобитната положба на седиментите, вулканогено - седиментните и вулканогените творевини, вршено е во пределот на некогашните вулкански апарати (кратери, калдери), а потоа и чести субвулкански пробои на помлади интрузивни карпи.

Сепак, и на овој источен дел на ова синклинала, се до поблиската околина на Кратово, а исто така северно и јужно од Крива Река (во централниот дел на овој терен), контурите на Криворечката синклинала можат да се, ако не континуирано пратат, барем спрема локалната положба на стратификацијата, да се насетат.

Синклиналната положба на седиментите на овој простор, може да се толкува и со улегнување кое настанало како последица на празнење на вулканските огништа, чија миграција овде, изгледа, оди во правец од исток према запад, дотолку повеќе што синклиналната положба има и најголем дел од стратификуваните вулкански творевини, а меѓу нив дури и некои вулкански сливови.

Меѓу другото, за овој простор, Цвијиќ смета дека за големите изливи на еруптивните маси, причината е спуштањето на слоевите по длабина, што предизвикува истискување на вжештена магма, што при таквото спуштање мора да настане.

Најголемата длабина на која се наоѓаат терциерните седименти во овој простор, тешко е да се прогнозира. Меѓутоа, извесни геофизички податоци укажуваат на тоа дека, на пример, дебелината на терциерот во просторот јужно од Крива Река, помеѓу селата: Мургаш, Бељаковци, Коњух и Пезово, достигнува и 2.500 m.

Нашето мислење е дека во овој комплекс не влегуваат само терциерните туку веројатно и горнокредните флишоидни творевини, кои по се изгледа наоѓаат во нивната подина.

Инаку, во кристалините кои го изградуваат СИ дел од овој терен, а претставуваат дел од таканаречениот Осоговски антиклинориум, преовладуваат структурни облици, меѓу кои овде се поизразени: една синклинала кај с. Железница, Лисечко-Мушковска антиклинала, Псачко-Мождивњачка антиклинала и Мождивњачка дислокација. Раседните структури нешто се почести на ободните делови - спрема контактите со вулканитите и на контактот помеѓу амфиболските карпи албит-хлоритски шкрилци.

Спрема досегашните сознанија, во комплексот на вулканските и вулканогено - седиментните карпи на овој простор, застапени се претежно дисјуктивни тектонски облици, со исклучок на споменатата Криворечка синклинала и неколку помали локални набори во рамките на ова синклинала. Најстари, најмаркантни и изгледа доминантни се субвертикалните раседи и раседни зони со Динарски правец на протегање: СЗ-ЈИ, долж кои доаѓало до исфрлување на огромни маси на вулкански материал во оделни фази и кои се повеќе пати реактивирани. Тие се врзани за нешто постари и поинтензивни терциерни

тектонски движења. Долж нив биле поинтензивни и хидротермални акции, чии резултати се најчесто каолинизација, силификација, пиритизација, некогаш и оруднување често се маскирани со изливни плочи на дацито-андезитски или нивните пирокластити.

Во рамките, или во близината на некогашните вулкански апарати (Плавица, Црни Врв, Туралевскиот Кратер и друго), доста чести се и маркантни раседни зони со протегање ЗСЗ-ИЈИ до З-И, кои, спрема некои автори претставуваат дислокации настанати како резултат на рефлексивни движења на кристалинска основа.

На другиот, помлад, систем на раседи припаѓаат оние со протегање по правец ЈЗ-СИ, кои се исто така субвертикални, а ги разламаат и вулканските и седиментните творевини, поради што во истото ниво доста често можат да се најдат седиментите од различна старост.

По се изгледа, дека најголемо значење за општата геоструктурна градба на овој простор (меѓу раседите со следење по правец ЈЗ-СИ, има оној кој маркантно изразен во кристалините почнувајќи од село Псача па преку селото Талашманици до коритото на Кратовска Река од каде продолжува и низ вулканитите преку Туралевскиот Кратер (и раседната зона кај палеохидригеотермалната појава бр. 1 Здравевци, и испод дупнатината ZD-3), потоа село Сакулица и горниот тек на Анска Река, се до атарот на селото Строиманци. На овој расед укажуваат и податоците на геофизичко-геоелектричните испитувања (вертикално геоелектрични сондирања). Имено, Столиќ, во извештајот за овие испитувања покрај останатото подвлекува дека: Раседот издвоен помеѓу сондите  $S_{21}$  и  $S_{22}$ , претпоставуваме дека е продолжеток на геолошки утврден регионален расед Талашманце – Псача со правец на протегање СИ-ЈЗ.

Со овој расед, односно раседна зона долж кои изгледа дошло до значителни вертикални и хоризонтални изместувања, возможно е до некаде да се објаснат и извесни, нелогичности, во просторната положба на Криворечката вулкано - тектонска депресија во правец на ЈИ.

Во рамките на овие вулкански апарати, познати се меѓутоа, и раседи со многу различна просторна положба, а кои се најчесто распоредени во однос на централните делови на тие вулкански апарати (калдери, кратери). Во ваквите случаи, може да се зборува за деструктивни (негативни) вулканогени структури - депресии, кои настанале како резултат на снижување на ниво на магмата во периферните огништа, благодареејќи на вулканските изливи. Поради тоа, доаѓа на спуштање на кровината над периферните огништа, при што се образуваат прстенасти и радијално распоредени разломи.

Што се однесува до интензитетот на тектонските движења долж спомнатите раседни системи, односно до степенот на издигнување или спуштање на поедините блокови, може да се рече дека тие на овие простори не се доволно проучени. Тоа до некаде може да се оправдува со еднородноста на материјалот и доста нејасни суперпозициони односи



во вулканогени или вулканогено-седиментни творевини. Сепак, на некои делови од овој терен, доста јасно е видно дека вертикалните тектонски движења биле изразени особено на контактните делови меѓу Осоговските кристалини и околните седименти, вулканогено-седиментни, па и чисто вулкански творевини. Присуството на постарите, еоценски и олигоценски творевини на или блиску до контактен дел на кристалините, укажува на релативно издигање на кристалините, како на западен дел од Осоговските планини, така и кристалините кои се наоѓаат во фундаментот на терциерните творевини.

Влијанието на тектонските движења на обликот и просторната положба на геотермалниот, односно хидрогеотермалниот реон во просторот западно од Кратово, очигледно е битно, на што укажуваат досега приберените геолошки и геофизички податоци. Меѓутоа, тие се сеуште недоволни за поегзатно заклучување на природата и градбата на колекторот и изолатор, а посебно за локацијата на можните грејни тела за термоминералните води во овој простор.

Нашата интерпретација на можните геолошки односи во овој простор, прикажана на приложените геолошки профили, повеќе треба да се земе како прелиминарна и прогнозна, која има за цел да предизвика дискусија за барање на патиштата за што порационален начин на натамошните истражувања на овој перспективно, изгледа, многу значаен хидротермален, односно магмогеотермален ресурс.

Овде е посебно проблематична полжбата на субвулканските пробои, нивната големина и длабина од која потекнуваат. Неизвесна е и нивната старосна сукцесија на образованието, која тешко може да се определи со староста на вулканогено - седиментните или постари вулканогени творевини, кои тие ги пробиваат. Тој проблем би можел да се реши најдобро со определување на нивната апсолутна старост.

Слична е и состојбата и со раседите кои се прикажани на овие прогнозни геолошки профили. Имено, прашањето во која мерка раседите влијаат на дисконтинуитетот на вулканогениот и вулканогено - седиментниот комплекс на карпите, кои овде претставуваат изолатор за термоминералните води, сеуште останува отворено. Извесно поголема сигурност во интерпретацијата имаме само во оној дел од просторот (прикажан на профилите), на кои се извршени геоелектрични сондирања, а кои ни дале драгоцените податоци за разјаснување на геолошко - тектонската градба на овој дел од просторот. Во тој поглед, посебно се драгоцените геофизичките податоци за положбата на раседната зона низ која се пробива термоминералната вода кон површината на теренот и на која е со истражните дупнатини отворена (надупчена) термоминералната вода на локалитетот Здравевци (ZD -1 и ZD -3).

Што се однесува до неотектонските движења во просторот кој денеска го дефинираме како геотермален систем Здравевци, мораме да признаеме

дека за сега имаме и малку податоци во тој смисол од поранешните истражувачи, односно различни автори, а и малку сопствени сознанија. За натамошно расјаснување на геолошко - структурните односи, кои владеат на овој простор, неопходно е во првата наредна фаза на истражувањето, да се реализираат прво додатни поефтини, но како се покажа до сега, ефикасни геофизички испитувања (геоелектрични сондирања и магнетизам), кои би можеле да дадат додатни драгоцен податоци за градба на овој терен, а со тоа и за што посигурно определување на микролокации за длабоки и скапи структурни истражни дупнатини.

Голема помош од овој поглед (лоцирање на структурни истражни дупнатини), ќе имаат и додатни структуролошки, петролошки, хидрогеотермални па и стратиграфско - палеонтолошки истражувања, на просторот помеѓу Кратово и реката Пчиња, Овче Поле и Козјачијата и Герман Планина.

### **13.0 ПАЛЕОХИДРОГЕОТЕРМАЛНИ И СОВРЕМЕНИ ХИДРОГЕОТЕРМАЛНИ ПОЈАВИ НА ТЕРЕНОТ**

Терминот “палеохидрогеотермални појави” и нивното прецизно дефинирање во стручната литература, прв го дал Миливоевиќ 1982 година.

Како изучување и познавање на палеогеотермалните и современите хидрогеотермални појави има и посебно значење за рационално објаснување на целиот хидротермален систем, односно за неговата реконструкција, со цел да се изработи неговиот прогнозен модел, кој ќе служи како основа за концепирање на идните истражувања, потребно е да се даде макар кратка дефиниција на тој поим.

По Миливоевиќ: “Палеохидрогеотермалните појави на минералните нагомилувања кои настанале од дамнешно или блиско геолошко време, со наталожување на хидрогеотермални флуиди, на местата на нивното истекување на копното или под водата и во шуплините на карпестите маси во Земјината кора кои исто така настанале во геолошкото минато со взаемно делување на тие флуиди и на карпестите маси, како и аномалните вредности на топлотното поле во подрачјата на некогашната циркулација на хидрогеотермалните флуиди. Наведената дефиниција ги опфаќа сите видови на палеохидрогеотермални појави, почнувајќи од хидротермални т.е. хидротермални алтерации како најчести и најмногу изучувани, па се до аномалните вредности на температурата и топлотноит тек во карпите, низ кои или под кои циркулирале хидрогеотермални флуиди, како што е тоа случај со некогашните, но геолошки млади конвективни хидрогеотермални системи, како што е хидрогеотермалниот систем “Здравевци”. Терминот “современи хидрогеотермални појави”, сам по себе доволно е јасен, па не е

потребно посебно да се објаснува, но потребно е да се подцрта нивното заедничко потекло и потсети дека се поврзани само со еден смер, односно дека: “Палеохидрогеотермалните појави се јавуваат само во вид на минерални наслаги и аномално топлотно поле, а современите хидрогеотермални појави во вид на хидротермални флуиди, минерални наслаги и аномалното топлотно поле”.

Палеохидрогеотермалните појави имаат големо значење и за оценка на општите геолошки и хидрогеолошки услови, врз основа на кои може полесно да се согледа перспективната и на овој терен. Таквото нивно значење произлегува од тоа, што тие денеска претставуваат места на некогашно истекување на топлите води и на тој начин укажуваат на постоење на можноста да се тие денеска откријат на поголемите длабини. Имено од топлите води се наталожуваат растворени минерални материји на местата на нивното истекнување и на тој начин вршат зачепување на патиштата на зоните на нивното движење во приповршинските делови на теренот.

Хидротермалните промени на карпите широко и интензивно се развиени на многу локалитети на Кратовско-Злетовската вулканска област, па спрема тоа и во овој простор. Ќе потсетиме на локалитетите каде се тие најизразени, а тоа се (одејќи од СЗ кон ЈИ) : Стрезовце, Бељаковце, Шопско Рудари, Туралевски Кратер (Боровиќ), Градиште, Црни Врв, Горун, Плешници, Пластица, Добревско Pb-Zn наоѓалиште, Строиманци, Озрен меѓу с. Стрмош и Неокази, Турско Рудари и рудник “Опалит” кај с. Спанчево (слика 22).

Важно е да се напомене, дека сите овие појави воглавно се наоѓаат во рамките на значајната вулканско - тектонска депресија, која е наречена Криворечка синклинала, односно на или во близина на регионален длабински расед наречен “Главна тектонска линија на Балканскиот полуостров”, која е и граница помеѓу Вардарската зона и Српско - Македонската маса.

На хидрогеотермалните промени ќе се осврнеме посебно само на локалитетите каде се тие дел од познатите современи, односно палеохидрогеотермални појави.

Палеохидрогеотермалните и современите хидрогеотермални појави “Здравевци” во р. Повишница, на северните падини на ридот Градиште (во Туралевскиот кратер (кај ЗД-1 и ЗД-3), се најмаркантни и најзначајни на овој простор. Макар што се многу маркантни, овие појави не скренале внимание на истражувачите и не се забележувани дури ни тогаш кога за овој локалитет се работени детални геолошки, геохемиски, и геофизички карти. Имено, овде непосредно по левиот брег на р. Повишница и непосредно до дупнатината ZD -1, се наоѓаат здробени блокови на шупликавиот бигор (со големина од 1-5 cm<sup>3</sup>), расфрлени околу една маркантна субхоризонтална шуплина (со „должина“, скоро десет метри и

„височина„ до 1 m), од која и денеска истекува повремено сосема мала количина на црвеникава „железовита вода„.

Под овој некогашен, изгледа силен извор, останала сочувана од ерозијата, маса на бигор од неколку десетици m<sup>3</sup>. Со оглед на тоа, што бигор има и над овој некогашен извор (повеќе од десетина метри), очигледно е дека тој повеќе пати „мигрираше„ како последица на samozачепување од изталожените минерални творевини (силициски, карбонатни и др.). Инаку субхоризонталната положба на „устата„ на овој некогашен извор е диктирана со меѓусливна пукнатина низ која се под силен притисок термалната вода пробиваше на површината на теренот.

Здробените блокови и помали парчиња на бигор, со минимално набљудување можат да се видат денеска на многу места низводно во коритото на р. Повишница што сведочи за некогаш големи количини на бигор околу овој фосилен извор, кои се со дополнителна речна ерозија и денудација разбиени.



Слика 22. Палеогеохиротермални појави во КЗВО (Ракиќ, 2003)

Picture 22. Paleo-hydrogeothermal appearances in KZVO (Rakic, 2003)

На околу 100 m низводно и околу 200 m. Узводно (вкупно се 300 m) од овој фосилен извор, во и непосредно до коритото на Повишница, на повеќе места внимателен набљудувач може да забележи повеќе многубројни најчесто остри пукнатини во инаку силно хидротермално изменета раседна зона, долж кои истекуваше сосема мала количина на црвеникава железовита вода. Уште е позначајно тоа, што од овие

микropукнатини редовно излегуваат гасни меурчиња (кои нормално можеа да се приметат само во водата на Повишница), за кои покасно е утврдено дека се исклучиво од гас ( $\text{CO}_2$ ). По издупчувањето на истражните дупнатини ZD-1 и ZD-3 и ерупција на топлата вода и  $\text{CO}_2$  од нив, овие појави на гасови, разбирливо не се забележуваат.

Сите наведени палеохидрогеотермални и современи хидрогеотермални појави се врзани за една моќна бречизирана раседна зона со екстремно изразени хидротермални измени (силификација, серицитизација, каолинитизација, пиритизација, алунитизација), со екстензивна полиметалична минерализација (на Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Ag). Долж пукнатините често се приметени и скраи на самороден сулфур. Оваа субвертикална раседна зона проследена е по длабина со геофизичките геоелектрични сондирања, а потоа и со длабинско дупчење (ZD-3).

Палеохидрогеотермалната и современа хидрогеотермална појава „Вруќа Вода„ се наоѓа на околу 750 m. Узводно на левиот брег на реката Повишница (коорд. Y – 7 590 858.00; x – 4 659 260, 00), од која е издупчена истражна дупнатина ZD – 2.

Овој извор е релативно топла вода (ска 19° C) , одамна е познат кај месното население поради неговите лековити особини (за разни кожни, реуматични, stomачни и гинеколошки заболувања).

Изворот се наоѓа во шума и со знатен хумусен покривач, но видливо е дека е врзан со расед, односно раседна зона со протегање J3 – СИ. Водата овде извира во вид на едно разбиено извориште на простор „широк„ 20 m, од изгледа една субхоризонтална меѓусливна пукнатина. Вкупната количина на водата, која истекува од повеќе млазеви, кои имаат заедничко извориште, изнесува околу 2 l/s и стабилна е во текот на целата година.

Околу ова извориште забележани се знатни количини на бигор во вид на разорен субхоризонтален „слој„ со дебелина до 1 m и со блокови од бигор до 1 m<sup>3</sup>. Како што ќе видиме подоцна, хемизмот на водата од овој извор е сличен на другите води во р. Повишница, а кои потекнуваат од длабоки делови на овој простор.

Инаку обидот да се оваа вода надупчи по длабина (со ZD – 2 =107 m) не успеа поради тоа што дупнатината „одеше„ низ еден свеж неиспукан андезитски пробој, а водата која го храни изворот „Вруќа Вода„ оди изгледа по ободот на овој пробој.

Палеохидрогеотермалната и современата хидрогеотермална појава „Кисела вода „ се наоѓа на околу 1. 200 m од ZD – 3, низводно во десниот брег на реката Повишница на надморска висина од ска 430 m, на околу 150 од денешниот тек на реката, односно на самото корито на еден поток (Суводолица ), кои се овде од правец на север влива во Повишница како нејзина десна притока (со коорд.: y – 589 047,00, x -4 659 143,50). Околу овој поток, а неколку метри пониско, убаво се гледа субхоризонтален „слој„ на бигор со дебелина до 50 cm.





(photo: Ristova, 2010)

**Слика 23** Самоизлив на термоминерална вода и создавање на железни оксиди  
**Picture 23** Effluence of thermo mineral water and creation of iron oxides

Самиот извор се наоѓа на контактот помеѓу андезити и туфови кои лежат преку нив, поради што местото каде што извираше вода има издолжена субхоризонтална положба. Овде се работи за увлезен извор на термоминерална вода, која веројатно потекнува од една раседна зона, која се наоѓа на околу 150 m северно од него, а има протегање J3 – СИ. Температурата на водата овде изнесува 19<sup>0</sup> C.

По издупчувањето на истржната дупнатина ZD – 4, која е лоцирана на околу 100 m. ЈИ од изворот, тој потполно пресуши (до тогаш имаше прилив од сса 0,5 l/s.) додека во дупнатината се појави топла вода ( $t = 22^{\circ}\text{C}$ ) со додаток од сса 10 l/s која покасно се „губи„ во алувионот на река Повишница така да денеска од оваа дупнатина излегува само околу 2,0 l/s, но од која непрекинато излегуваат доста чести гасни меурчиња на CO<sub>2</sub>.

Очигледно е дека со натамошните истражувања допрва треба да се разјаснат повеќе работи околу механизмот на истекувањето на термоминералните води на овој локалитет, нејзиното губење во алувионот и сл. На околу 800 m низводно на предходно опишаниот извор и ZD-4 и околу 200 m хидротермални промени на околните олигоценски вулканогено – седиментни творевини, од кои на околу 250 m СИ од ZD–5 (ZD – 5 = y – 7 588 281,00, x – 4 658 743,50, z – 408 m) од десниот брег на р. Повишница, извира еден извор на киселкаста железовита вода со



мал доток (ска. 0,1 l/s). Поради проверка на овој локалитет, првенствено за определување на температурата на средината, а и гасоносни термални води, дупчена е истражна дупнатина ZD-5. Меѓутоа, од неа излегува сосема мала количина на минерализирана вода ( $t - 18^{\circ}\text{C}$ ), во која се приметуват меурчиња на гас  $\text{CO}_2$ .

Термоминералната вода „Гоцева Чешма„ (инаку кај месното население позната како „Кисела Вода„ или Кратовска Кисела вода), се наоѓа на СЗ подини на Здравчи Камен во близина на коритото на Кратовска Река и околу 1 km. Западно од с. Железница, а под патот Кратово – Куманово. Пред изградбата на новата траса на патот, овој извор беше каптиран над патот, а потоа со цевоводи водата од каптажата е спроведена до денешната „Гоцева Чешма„ на растојание од ска 200 m. Иако примарниот извор не е достапен на набљудување, сосема е извесно дека водата од длабина доаѓа долж контактот помеѓу кристалините со голема маса на субвулканскиот пробив на кварцлатитите на Здравчи Камен. Покрај кристалините, овој кварцлатитски пробив извршил силни термометаморфни измени на околните вулкански туфови, кои се манифестираат пред се со нивната силна лимонитизација и хематитизација, од кои овој туф има изразита кафеаво – црвена боја. Во древни времиња, овој железовит туф е копан како железна руда (оттаму и името на соседното село Железница).

Од оваа чешма, водата има просечен и постојан доток во текот на целата година од ска 1 l/s и постојана температура од  $19^{\circ}\text{C}$ . По хемиски состав (за кој ќе зборуваме понатаму), оваа вода спаѓа во хидрокарбонатно – натриумски води, а содржи и знатни количини на железо и  $\text{CO}_2$  (1,419 g/l.). Водата е питка и има киселкаст вкус (pH -6,7), а спрема искуството на месното население и е лековита. По истекнувањето на оваа вода, веднаш се издвојуваат знатни количини на црвеникави бигровити наслаги, што е убаво видно во еден мал рекреативен базен, кој се полни со водата од оваа чешма.

Во непосредна близина на оваа хидрогеотермална појава, издупчени се неколку истражни дупнатини, кои имаат за цел истражување на железовити туфови и температурни прилики во теренот на овој локалитет. Добиени се интересни нови податоци, за кои ќе зборуваме понатаму.

Палеохидрогеотермалната појава „Св. Димитрије„ се наоѓа на околу 1,5 km ЈЗ од селото Секулица, на левиот брег на Анска Река (левата притока на Повишница), а и на СИ падина на ридот Св. Димитрије. Оваа појава е лоцирана непосредно до еден помлад расед со протегање ЈЗ – СИ и воедно ја чини и границата помеѓу олигоценски туфогени песочници со варовничко врзиво и биотитски – аугитски андезити.

Околу патот Сакулица – Татомир, а особено пред патот на Анска Река, оваа палеохидротермална појава се манифестира во вид на една силно каолинизирана зона со широчина од 10 – 20 m, во која се забележани

бигорливо – песокливи примеси, лимонитизација и екстензивна ситнозрна пиритизација. Особено овде се интересни примесите на самородниот сулфур, а посебно доста чести индивидуализирани кристали на гипс. Оваа појава очигледно има генетска врска и со раседна зона и со младиот дајковиден пробој на габро – дијабаз на Св. Димитрије. Заради проверка на значењето на овие хидротермални измени од аспект на полиметаличната минерализација, при крајот на 1985 година, овде е издупчена една вертикална истражна дупнатина со длабина од 105,5 m. (SB – 1, коорд: y – 7 586 903, x – 4 654 944, z – 541 m), со која не се докажани поголеми концентрации на полиметали, но е од значење што на 67 m длабина надупчена вода со самоизлив (ска 2 l/s), со доста ниска температура (14°C), но со знатна количина на гасот CO<sub>2</sub>.

Водата со меурчиња на CO<sub>2</sub> од оваа дупнатина излегуваше повеќе од три години, кога се загуби преку некоја од пукнатините во дупнатината, што е логично и поради тоа што устието на дупнатината повисока за околу дваесетина метри од ерозиониот базис на блиската Анска Река.

Хидротермалната појава „Смрдеш„ се наоѓа на околу 300 m ЈИ од Милкинци Маало на с. Шопско Рудари, а на СИ падина на ридот Кујбул (y – 7 585 940. X – 4657 696) во Попов Дол. Всушност овде се работи за извор (каптирана чешма) со мал доток (0,1 l/s), но со киселкаста значително минерализирана вода, со карактеристична миризма. Околните хорнбленда биотит андезити, знатно се каолинизирани и делумно лимонитизирани и слабо пиритизирани. Значајно е и индикативно, дека овој локалитет месното население го вика „Топлик„.

Потребно е во идните истражувања да се разјасни дали појавата на „Смрдеш„ има евентуална просторна врска со оние силно хидротермални изменети хијалоандезитски туфови на околу 500 m источно од селото Шопско Рудари. Овде се маркантни црвеникави „спржени„ карпи со изразени хидротермални измени и со чести појави на гипс, кои се кон СЗ простираат кон ридот Кралица и покрај левиот брег на Крива Река се до атарот на селото Бељаковци.

Инаку, во атарот на селото Шопско Рудари на многу локалитети познати се силно хидротермални изменети игнимбрити, андезити и хијалоандезити (најчесто силно силификувани или каолинизирани). Меѓутоа, овие појави сеуште не се доволно проучени, па останува тоа да се стори што порано, затоа што овој простор може да даде драгоцен податоци, како од геотермален аспект, така и од аспект на полиметалична минерализација (Pb, Zn, Au). Тоа особено се однесува на појавите во околината на ридовите Туртеш, Кујбул и Градиште, посебно околу коритото на Свињи Дол, т.е. околу Царева Чешма (осебно југо-западно од Царева Чешма на месноста „Рупје„, каде се познати остатоци на стари работи и жгура), и натаму кон селото Татомир, ридот Асаница и

атарот на село Стројманци. Во тој смисол, интересен е и просторот кај Црвени Чукар.

Палеохидротермална и современа хидрогеотермална појава „Скок„ помеѓу Грамадарци и Ѓавци на селата Горна Куклица, во Куклички Дол (коорд:  $y = 7\ 587\ 550$ ,  $x = 4\ 664\ 300$ ). Овој постојан извор кој овде „избива„ на левиот брег на Куклички Дол, е врзан за една раседна зона со протегање J3 – СИ, во која хидротермалните измени, скоро и да ги нема, во околните хорнбленда биотит аугит андезити. Меѓутоа, околу изворот се наоѓаат знатни количини на бигор кој и сега се создава. Инаку изворот не е добро каптиран па е измерениот доток од „лулето„ од 0,5 l/s, изгледа значително поголем. Инаку водата има температура од 14–15°C pH нешто помал од 7.

Значителни количини на бигор приметни се и до 200 m низводно во Куклички Дол, така да на месноста викано „Трски„ тој може да се прати непрекинато на должина од 12 – 13 m и дебелина до 3 m.

Да напоменеме дека, овој извор се наоѓа недалеку од контактот помеѓу андезити со вулкански бречи и туфни песочници, поради што овде, во потокот, формиран е еден доста висок водопад од скоро 14 m (одтаму и назив „Скок „). Спрема локалните прилики може да се заклучи дека овој извор во минатото повеќе пати мигрирал низ различни пукнатини, поради самозачепување со бигор.

Не е лошо да се забележи дека на околу 1. 200 m воздушна линија, кон ЈЈИ, на јужните падини на ридот Седлар има уште еден постојан пукнатински извор (коорд.  $y = 7\ 588\ 180$ ,  $x = 4\ 663\ 700$ ), кој има сосема мал доток, но релативно висока температура на водата (18°C). На местото каде е тој извор се забележува знатна каолинизираност на околните хорнбленда биотит аугитски андезити.

Со оглед на големата покриеност со хумус, чија дебелина не е поголема од 1 m, со само еден раскоп, и овде е возможно да се дојде до интересни податоци од аспект на геотермијата.

Хидротермална појава Бобица, се наоѓа непосредно до село Талашманци, во потокот, под стар пат Кратово – Страцин, односно на месноста Бобица и околу 700 m, северно од триг. Точка 731 – на ридот Бобица (коорд:  $y = 7\ 593\ 500$ ,  $x = 4\ 663\ 240$ ).

Изворот се наоѓа на контактот помеѓу палеозојски албит - епидотски шкрилци и еоценски вулканогено-седиментни стени (туфогени песочници и алевролити и песочливи варовници). Изворот се јавува во вид на пишtevина, под која се на површина помала од 10 m<sup>2</sup> јавуваат доста тенки наслаги на бигор. Поради знатна покриеност со хумус и пошуменост не може да се оцени степенот на можната изменетост на околните карпи. Поради тоа ќе биде потребно оваа појава со раскопување подобро да се проучи.

Палеохидрогеотермални појави Осиња. Со проспекциски прегледи на теренот во атарот на с. Талашманци и Живалево, помеѓу маалата Минци

и Горна Маала, во коритата на два потоци десни притоки на Кратовска Река, на повеќе места се забележуваат помали нагомилувања на бигор. Една таква појава на бигор се гледа во потокот кои тече СЗ од ридот Осиње (к. 574), на површина од само 3 m<sup>2</sup>. Потекнува, изгледа од една пукнатина во игнимбрите (кои се овде значително хидротермално изменети) од која постојано тече мала количина на ладна вода (ска 10<sup>0</sup>С), која има нормален вкус (коорд: у – 7 592 250, х – 4 662 125).

Во потокот кој тече под ЈИ падини на ридот Осиње, под Горно Маало, на контактот на еоценските вулканогено – седиментни карпи и дацито-андезитски игнимбрити, на повеќе места приметени се скрами и помали или поголеми нагомилувања на бигор (прибл, коорд.: у – 7 593 350, х – 4 661 760 ), покрај пукнатините од кои и денеска тече по малку вода. Овие појави беа причина, покрај останатото, овде во близина да се буши истражна бушотина (ЗБ -1), која, како што ќе видиме подоцна, даде негативни резултати.

Во целина земено овие појави сеуште не се доволно проучени за да би се зборувало посериозно за нивното, возможно значење од аспект на геотермијата, па останува тоа во иднина да се стори.



(photo: Ristova, 2010)

**Слика 24** Самоизлив на ЗД-4

**Picture 24** Effluence of ZD-4

Корените и потеклото на хидрогеотермалниот систем Здравевци, по геолошка логика, треба да се бараат веќе при завршеток на пароксеизмичка дејност на вулканизмот во овие простори, односно во неговиот сулфатарско - фумаролски стадиум, кои се (со пратечките

хидротермални измени), неспоредливо подолги од пароксеизмичките исфрлувања на вулканите, а нивните производи не се сингенетски со образување на вулканите и вулканските производи, туку доаѓаат после и преку нив. Најмаркантни производи на солфаторско-фумаролската дејност во Кратовско-Злетовската вулканска област се големи маси на секундарни кварцити (хидрокварцити, силекс), и други видови на силификацијата (опалити, опалски бречи), чие образување се одвивало низ долго геолошко време, со бавни метасоматски измени на околните интермедијарни карпи (главно дацито – андезити и нивни пирокластички). Меѓутоа, и нивното образување не одело континуирано низ времето, туку со поголеми или помали прекини кои беа предизвикани со општиот од на геотектонската еволуција на овој простор. Познато е дека најинтензивни хидротермални процеси се вршат во наследените стари вулкански апарати и во нивната околина. Фумаролско – солфаторски измени се вршат не само долж пукнатините, туку нарочно долж хоризонтите на порозните продукти на ерупциите, кои можат да бидат распространети и повеќе стотици метри од тие апарати. Ако се земат во предвид и миграциите на центрите на екструзиите за време на траењето на вулканскиот циклус (со пратечки тектонски движења), тогаш е појасно на кој начин настанале големи маси на силно силификувани карпи и пратечки други видови на хидротермални промени на околните карпи.

Не влегувајќи во детали, а со цел да се обидеме да дадеме објаснување за постанок на палеохидрогеотермалните појави и нивната палеохидридинамичка реконструкција на еден пример во Туралевскиот Кратер, потребно е да се апострофира повеќекратно обновување на тектонските движења и нивното влијание на циркулацијата и на местата на истекнување на палеохидрогеотермалните флуиди. Како еден пример за такви тектонски влијанија, можат да послужат појавите на секундарните кварцити на Црни Врв каде тие се нешто подетално проучени. Имено овде е утврдено дека процесот на метасоматските измени (силификација) на првобитната карпа овде се одвивал во три главни фази, при што главнината на аморфна до микрокристалеста кварцна маса настаната во првата најдолготрајна фаза. Под влијание на обновливите тектонски движења и тектонски дробења во овој секундарен кварцит (силекс), образувани се многубројни прслини и пукнатини кои се потоа пополнети со нова генерација на аморфна до микрокристалеста силициска маса. Повторно обновување на тектонските движења довело до образување на ситни прслини и шуплини во кои се образувани мали количини на таканаречени запчести кварц т.е. ситни кристалчиња на кварц, кои се образувани од веќе нормално концентрирани хидротермални раствори. Да се обидеме да се определи температурата на образувањето на овие секундарни кварцити, со методот на декрипитизација и хомогенозација за жал не донесе резултати, од едноставна причина што тие не содржат гасно – течни

инклузии. Од испитаните шест примери од различни локалитети на Црни Врв, само во еден примерок на тн. грабенаст – запчест кварц на последната фаза на образувањето, најдени се гасно – течни инклузии кои укажуваат на температурен интервал на хидрогеотермална активност од 110 до 140°C.

Образувањето на силно силификувани творевини (секундарни кварцити, опалити, опалски бречи и сл.) се одвивало времениски мошне долго и освен во фумаролско – солфаторски стадиум, тоа продолжува со прекини и во покасната хидрогеотермално – пнеуматолитска и чисто хидротермална фаза, се до денеска во условите кои, на пример владеат кај топлите води на хидрогеотермалниот систем Здравевци. Оттаму произлегува дека во идните испитувања важно место треба да имаат, покрај останатото и испитувањето како на силификуваните карпи во овие простори, така и другите пратечки видови на хидротермални измени, а посебно пратечкото полиметалично оруднување (посебно на Au и Ag).

Со цел да се согледа потеклото и значењето на палеохидрогеотермалните појави врзани за геотермалниот систем Здравевци, кои би можеле да послужат, покрај останатото, за рационално планирање и изведување на идните геотермални истражувања, чија цел е да се откријат лежишта на геотермална енергија (хидрогеотермална и петрогеотермална), ќе се обидеме да извршиме реконструкција на условите кои предизвикале образување на овој геотермален систем, преку примерот на палеохидрогеотермалната појава Здравевци во Туралевскиот Кратер.

За општата геолошко – тектонска градба на овој простор, во кој е доминантна вулкано тектонската депресија наречена Криворечка синклинала, ние веќе до некаде зборувавме, а посебно ќе зборуваме при прелиминарните согледувања на геотермалниот модел на сегашен (и некогашен) хидрогеотермален систем на просторот западно од Кратово. Спрема тоа, овде ќе се задржиме нешто повеќе само на реконструкција на физичките услови на циркулацијата и на местата на истекнување на палеохидрогеотермалните флуиди, а за важни работи како што се големината на целиот хидрогеотермален систем, на неговиот колектор, изолатор, зона на прихранување, грејни тела и тн. ќе зборуваме подоцна. Како што наведува Миливојевиќ хидрогеотермалните флуиди поради разликата во притисоците кои владеат во нивната природна акумулација, се движат кон земјината површина по привилигирани патишта, а се одликуваат со висока температура, со специфичен хемиски состав, со промена на притисок долж патот на своето движење при што вршат постојана интеракција со околните карпести маси низ кои се движат.

Палеохидрогеотермална појава Здравевци лоцирана е во централниот дел на некогашен вулкански кратер, чија постпароксеизмичка дејност (солфаторско – фумаролска и хидротермална) завлегува по се изгледа, и длабоко во кратерот. На тоа укажуваат како релативно добри сочувани



ободни делови од некогашен кратер, така и силни изразени хидротермални промени (силификација, каолинизација, пиритизација и нагомулувања на елементарен сулфур), потоа неотектонски движења и секако, појава на хидротермални флуиди и гасови. Самата појава лоцирана е во една широка и здробна раседна зона, која спрема нашето мислење и досегашните создавања лежи некаде во близина на она значајна главно раседна линија на Балканскиот полуостров, како ја нарекол Ј. Цвијиќ, а која како што е познато, има генерално протегање по правец СЗ – ЈИ. И на локацијата Здравевци најмаркантната раседна зона има свој правец.

Меѓутоа баш на овој простор чести се помлади раседи со протегање ЈЗ – СИ, кои додатно влијаат на зголемување на тектонската раздробеност на карпестите маси во овој простор.

Меѓу нив е значаен оној маркантен расед со протегање по правец ЈЗ – СИ, за кои зборувавме порано (во поглавјето Тектоника) и кои, по се изгледа, оди баш преку овој простор, т.е. палеохидрогеотермална појава Здравевци.

За постанок на палеохидрогеотермалните појави неопходно е да постои примарна или матична акумулација на хидрогеотермални флуиди со одреден хемиски состав, температура и притисок, која мора да биде затворена или полузатворена, што заедно со доволно висока температура ствара такви термодинамички услови кои овозможуваат да со истекнување на флуидите врши единствено под притисок нагоре, т.е. према земјината површина. Друг неопходен услов е да постојат разломни механички ослабени и милонитизирани зони во повлатни карпести маси над акумулацијата на хидрогеотермални флуиди, чија порозност е повеќекратно поголема од порозноста на околните карпести маси кои служат како транзитни патишта на хидротермални флуиди. Такви услови постоеле и постојат на локацијата Здравевци.

Најверојатно, а тоа го потврдуваат и прелиминарните геофизички податоци (геоелектрично сондирање), оваа субвертикална раседна зона оди во длабина и преку 2. 000 m. Таа е со длабинско истражно бушење (ЗД – 3) по длабина проследена само до 335 m, поради загла на бушотината (проектирана длабина беше 500 m). Покрај тоа што на површината на теренот и од јадрата на истражните дупнатини ЗД - 1 и ЗД - 3 се видни текстурни карактеристики на карпестата маса во оваа раседна зона, која долго време служела како доводен (односно одводен) канал за циркулација на геотермални флуиди, ние сеуште не сме во состојба целосно да извршиме рационална реконструкција на условите под кои таа циркулација е вршена во текот на времето.

На целата должина на ЗД – 3 видна е општа тектонска раздробеност (катаклизираност) на вулканските туфови или андезити, која е, изгледа, повеќе пати обновувана. Настанатите шуплини на целата длабочина на бушотината обично се пополнети со мрежасто распоредени тенки

жилички на хидрокарцити, кои најчесто имаат субвертикална положба. Некогаш изоловано, а некогаш паралелно со нив се јавуваат калцитски жилички, со дебелина од неколку милиметри до 1cm. Понекогаш тој врзивен материјал се милиметарски пиритни жилички, најчесто субвертикални, но и со поинаква просторна положба. Пиритот се инаку, јавува во целата должина на бушотина во вид на ситни утрекувања.

Тука и таму екстензивно се јавуваат и рудни минерали, но ниту еден од нив во поголеми концентрации. Во десетина рудни препарати приметени се: магнетит, хематит, рутил, и мартит, потоа пирит (како општ минерал), халкопирит, молибденит, сфалерит и самородно злато. Во политките делови на ЗД – 3 ( до 100 m длабина ) приметени се хипергени: азурит, малахит, халкозин, ковелин и лимонит (кој е инаку на површината на теренот на повеќе места доминантен до степенот да гради понекогаш помали железни шешири).

Занимливо е на пример, дека во ЗД – 3 на длабина од 42 m може да се видат субвертикални жилички со следен ред на образување: хидрокарцит – пирит – рудни минерали – калцит.

Бигорот, кој обилно се излучува во последната хидрогеотермална фаза, во ЗД – 3 многу ретко се приметува и тоа само во вид на скрапи во отворените тенки пукнатинки од кои денеска циркулира термална вода со значителна содржина на CO<sub>2</sub>. Не влегувајќи, за сега, во други интересни детали, можеме да констатираме дека еволуцијата на функционирањето на геотермален извор, односно палеохидрогеотермална појава Здравевци се одвиваше временски долго и во сложените структурно – тектонски услови со сложени и променливи хемизми на палеохидрогеотермални флуиди.

Генезата на транзитните патишта кои ја поврзуваат матичната акумулација на хидрогеотермални флуиди со земјината површина изучена е на многу места во светот. Тие транзитни патишта најчесто се во вид на вертикални и субвертикални канали, кои се образуваат таму каде порозноста во една водонепропусна крута карпеста маса е најголема, а тоа е најчесто на пресеците на две раседни зони, каков е и случајот кај Здравевци.

Со оглед на сложениот литолошки и минералошки состав на карпестата маса во оваа субвертикална раседна зона, која се гледа во повеќекратното дробење на првобитната карпа (андезити и андезитски туфови) чии пукнатини и пори покасно се цементираны со различни минерални компоненти (хидрокарцити, пирит и др. рудни минерали, калцит, бигор и др.), очигледно е дека овде во текот на долго време се менуваат, како хемискиот состав на хидротермалниот флуид, така условите на неговата циркулација (отворен, полузатворен и затворен систем), се честа појава на температурата и притисокот. Сето ова врзано е и сукцесивно замозачепување на транзитните патишта со исталожување на поединечни минерални компоненти, потоа поради

постепеното зголемување на Т и Р со обновените тектонски движења, до нагло менување (опаѓање) на притисокот, ладење на флуидот и стварање на условите за полесна кристализација на минералите, што пак доведува до одново зачепување на доводниот канал и тн. Со други зборови доаѓало повеќе пати до пулзација на циркулацијата на палеохидрогеотермалните флуиди, што предизвикало образување на комплексни различни минерални наслаги во пукнатините на првобитната карпеста маса.



(photo: Ristova, 2010)

**Слика 25** Земање на примерок на вода од дупнатината ЗД-3  
**Picture 25** Taking sample of water from the drill ZD-3

Погоре изнесените основни податоци на палеохидрогеотермални и современи хидрогеотермални појави на теренот западно од Кратово, како и неколку несистематизирани забелешки за нивната просторна положба, генеза и начин на појавување, се само поттик за натамошни подетални и посистематични истражувања.

Меѓутоа, веќе денеска со голема веројатност можеме да тврдиме дека овие појави индицираат, покрај останатото, на постоење на големи акумулации на хидротермалните флуиди во просторот чии површини преминуваат неколку стотици  $\text{km}^2$ . Ова дотолку повеќе што сите други околности укажуваат дека се овие појави геолошки многу млади (плиоценско – квартални до современи) .

Појавата на гасот  $\text{CO}_2$  дури и во истражните дупнатини во кои воопшто не е надупчена термоминерална вода, на извесен начин ни дава можност за претпоставката за големи димензии на колекторот на

термоминералните флуиди во овој простор, односно за големите димензии на геотермалниот систем “Здравевци” воопшто.

#### **14.0 ГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ**

Хемискиот состав на хидрогеотермалните флуиди и изотопскиот состав на некои од растворените јони и гасови тесно се врзани со термалната историја на хидрогеотермалните системи. Оваа хидрохемиска законитост овозможува користење на многу практични методи за користење на хемискиот состав на хидротермалните флуиди во геотермалната симптоматика. Досега не се вршени изотопски испитувања на термоминералните води од геотермалниот систем Здравевци, овде врз основа на хемискиот состав ќе ги прикажеме пресметаните вредности само на хидрогеохемиските геотермометри, кои се во директна зависност од температурите кои владеат во неговиот колектор.

Методата на прогнозирањето на температурите на примарниот колектор е едно од помоќните и значајни средства кое може правилно да се користи со навремено солидно познавање на геолошките, хидрогеолошките и геотермалните услови во геотермалниот систем.

Не навлегувајќи во поединости, ќе потсетиме дека резултатите на испитувањето на хемискиот состав на голем број на топли и врели води во светот, од страна на многу автори, покажуваат дека содржината на Na, K, Ca, Mg и SiO<sub>2</sub> и други растворени компоненти, можат да дадат значајни подтоци и за температурите кои постојат во обемот на акумулацијата на хидрогеотермалните флуиди.

Хемискиот состав на хидротермалните флуиди во најголема мерка е условен од реакциите кои се вршат помеѓу минералите од кои се составени карпите и флуидите а кои зависат од температурите.

Испитувањата на хемискиот состав на термоминералните води од геотермалниот систем “Здравевци”, како и оние од повеќе други извори и бунари од овој простор, започнато е да се вршат во последните неколку години и не се секогаш систематски, туку почесто инцидентно, најчесто зависно од расположливите финансиски средства потребни за нивна изработка.

За одредување на хемискиот состав на водите примероците се земени од различни природни извори, копани бунари или истражни дупнатини од просторите кои гравитираат кон геотермалниот систем “Здравевци”. Хемиските анализи се работени во различни лаборатории со различни критериуми и можности за одредување на различни компоненти кои ги содржат испитуваните води. Освен тоа видливо е дека различни лаборатории имаат инструменти со различна осетливост при одредувањето на содржината на поедините компоненти (кога се

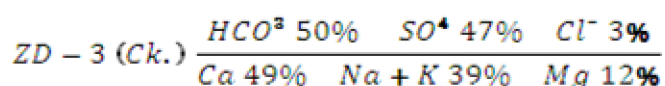
споредуваат податоците за водата од истражната дупнатина ZD - 3 од различни лаборатории).

Во точноста на одредувањето на поединечните компоненти нема да навлегуваме, но потребно е да се напомене бидејќи од овој аспект во иднина потребно е пообемно и посистематски да се работи на хемискиот состав, а особено на водите кои потекнуваат од хидротермалниот систем “Здравевци”.

За илустрација на хемискиот состав, податоците се прикажани на трилинеарниот дијаграм (Слика 26 и 27) од кој е видно дека термоминералните води кои потекнуваат од хидротермалниот систем “Здравевци” имаат сличен, но понекогаш различен хемиски состав зависно од средината од која потекнуваат, должината и составот на транзитните патишта од примарниот колектор до местото на нивното истекување, температурата на колекторот и во транзитните патишта, и др., но не е исклучена можноста и на влијанието на точноста на поедини лаборатории.

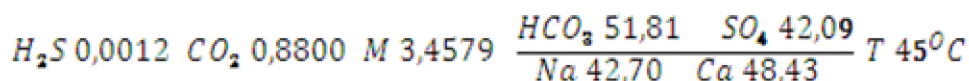
Од трилинеарниот дијаграм се гледа дека сите анализирани води спаѓаат во хидрокарбонатни, а по содржината на другите растворени компоненти (Ca, K, Na, Mg) можат да се подетално именуваат во определени подтипови.

На пример, термоминералната вода од истражната дупнатина ZD - 3, врз основа на хемиската анализа на Републичкиот Завод за здравстева заштита – Скопје, може да се дефинира како *хидрокарбонатна – сулфатно – калциско, натриско – калиски тип на вода* со следната формула:



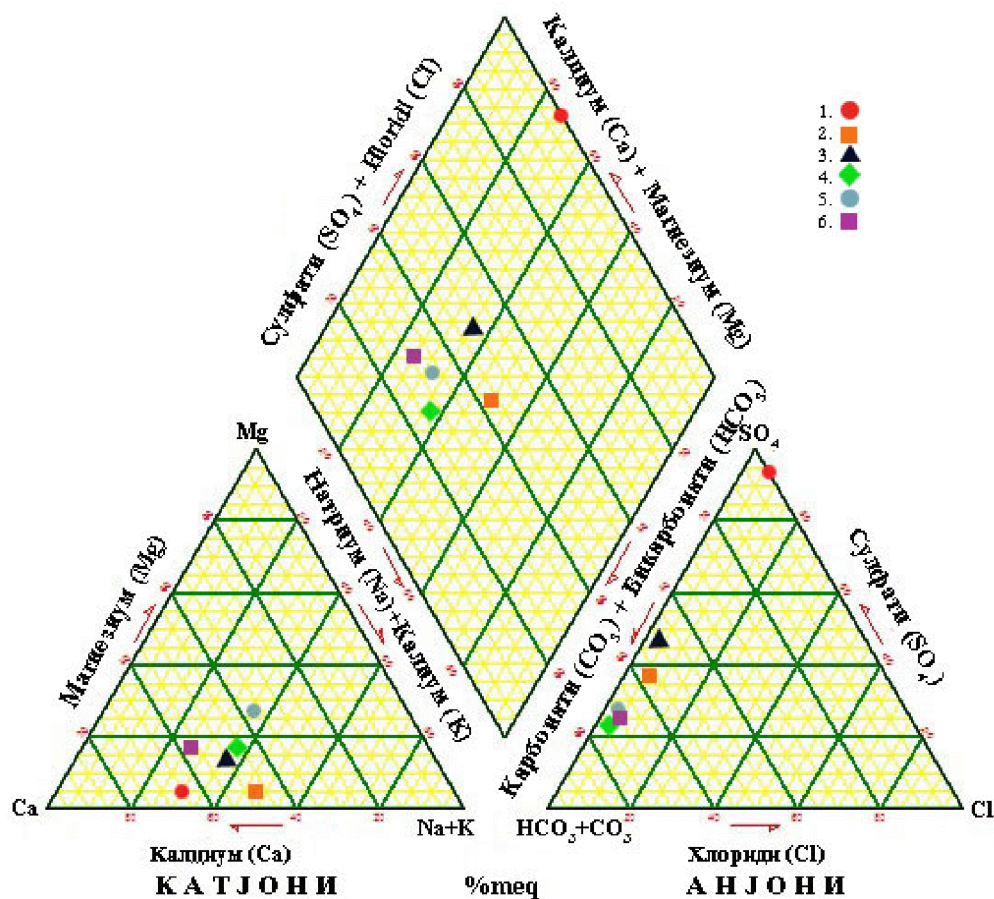
Врз основа на хемиската анализа на водата извршена од страна на хемиската лабораторија на Институтот за рехабилитација во Белград, таа е категоризирана како: натриум – калциум - хидрокарбонатни, сулфатно, сулфидни и ниско кисели јаглородни хипертерми, што е видно и од процентуалното учество на поедините растворени компоненти во нив (изразени во mg/l). Сувиот остаток на 180°C на испитуваната вода е 2,1743 g/l што укажува дека таа ги задоволува критериумите да биде воврстена во минерални води.

Анализираниот примерок на вода од истражната дупнатина ZD - 3 може да се претстави со следната формула (по Курлов):





Исто така е констатирано дека од катјоните преку 20 миливал % се застапени: натриум (42,7088 мвал%) и калциум (48,4343 мвал%) додека од анјоните: хидрокарбонатот 51,8153 мвал% и сулфатот  $\text{SO}_4$  - 42,0990 мвал%, што овозможува оваа вода да биде воврстена во категоријата на натриум-калциум-хидрокарбонатни, сулфатни минерални води.



**Слика 26** Трилинеарен дијаграм за хемискиот состав на термоминералните води по Пајпер за геотермалниот систем “Здаревци” (превземен од Елаборатот од 1993)

ZD-1, 2. ZD-3 (1), 3. ZD-3 (2), 4. ZD-5, 5. ZD-4, 6. ZD-2.

**Picture 26** three linear diagrams for the chemical content of thermo mineral water according Pajper for geothermal system “Zdravevci” (taken from the Elaborate from 1993)

1.ZD-1, 2. ZD-3 (1), 3. ZD-3 (2), 4. ZD-5, 5. ZD-4, 6. ZD-2.

Оваа вода содржи и слободен сулфурводород  $\text{H}_2\text{S}$  - 0.0012 g/l и слободен  $\text{CO}_2$  - 0,8800 g/l и во катергоризацијата се додава дека оваа вода припаѓа во категоријата на натриум-калциум-хидрокарбонатни, сулфатни, сулфидни и ниско кисели јаглородни хипертерми.

Во текот на 2009 година од наша страна се извршени испитувања на пет примероци земени од дупнатини од кои е денес истекува вода и еден примерок на вода од извор во реката Повишница (Табела 3).



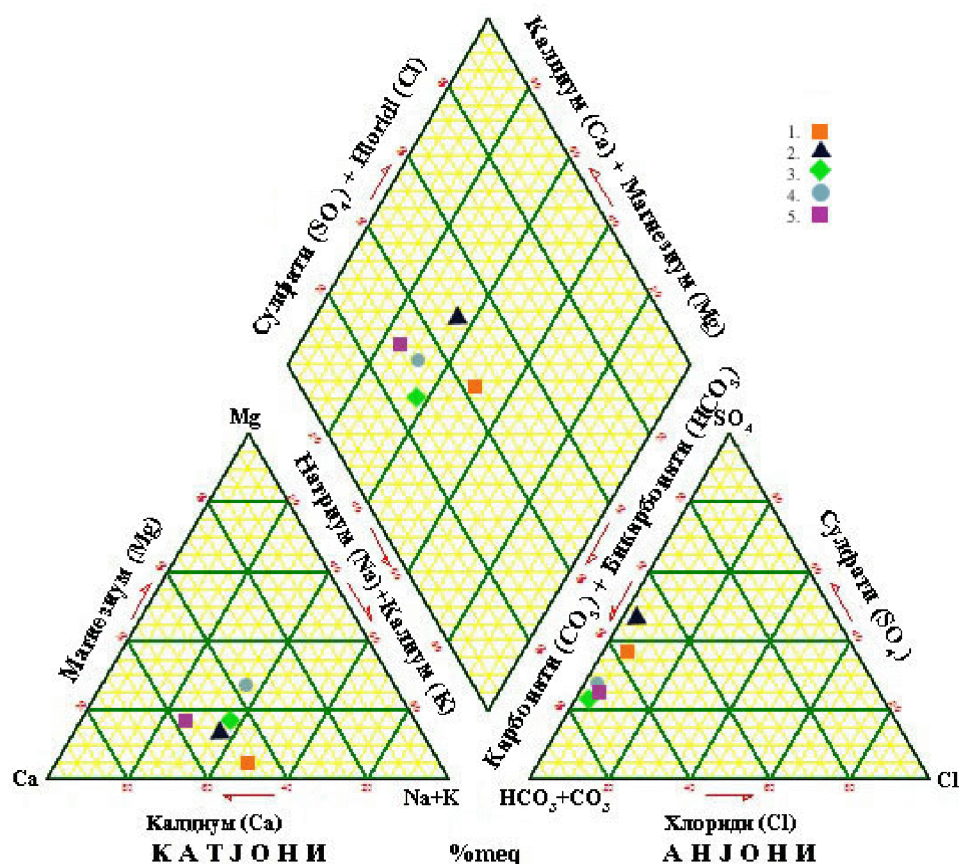
Резултатите добиени од овие испитувања ја потврдуваат припадноста на водата од овој геотермален систем кон категоријата на натриум-калциум-хидрокарбонатни, сулфатни, сулфидни и ниско кисели јаглеродни хипертерми (Слика 27).

**Табела 3.** Хемиски состав на термоминералната вода од геотермалниот систем “Здравеци” (mg/l)

**Table 3.** Chemical content of thermo mineral water from geothermal system “Zdravetsi” (mg/l)

Компоненти	Ознака на примероците					Извор
	ЗД-4 (1)	ЗД-4 (2)	ЗД-3 (1)	ЗД-3 (2)	ЗД-7)	
Na	214	260	252	223	90	175
K	40	39	36	37	38	53
Ca	319	340	262	320	295	271
Mg	52	38	36	32	45	79
Cl	33	34	44	80	28	39
SO <sub>4</sub>	374	492	430	560	480	332
HCO <sub>3</sub>	658	662	483	769	674	632
pH	6.8	6.8	7.0	6.9	7.1	6.8

**Напомена:** Анализите се работени во Заводот за здравствена заштита во Велес.



**Слика 27** Трилинеарен дијаграм за хемискиот состав на термоминералните води по Пајпер за геотермалниот систем “Здаревци”

1. ZD-3, 2. Извор, 3. ZD-5, 4. ZD-4, 5. ZD-2.

**Picture 27** three linear diagrams for the chemical content of thermo mineral water according Pajper for geothermal system “Zdravevci”

1. ZD-3, 2. Spring 3. ZD-5, 4. ZD-4, 5. ZD-2.

Вкупната минерализација на анализираната вода е прилично висока и често е поголема од 1 g/l односно се дмивижи помеѓу 0.33 – 2.88 g/l.

Анализираните води по своите физички особини се бистри, без боја, без мирис или слаб мирис на  $H_2S$ , без вкус или со слаб кисел вкус. Температурите им варираат во широки граници при што некои од нив можат да се сврстат во хипотерми, други во хомеотерми, додека водата од ZD - 3 во хипертерми.

pH вредностите варираат во широки граници, но најчесто тоа се неутрални води (со pH од 6.5 до 7.5). Екстремно кисела (pH – 2.6) е само водата од еден кладенец на Плавица каде е присутно интензивно разложување на сулфидните минерали.

Во поглед на гасниот состав, може да се каже дека сите минерални води од овој простор во кои се појавуваат гасови припаѓаат на јагленокисели води содржината на  $CO_2$  преминува 90%, а најчесто се работи скоро за стопостотни  $CO_2$ . Извесни примеси на  $N_2$  и  $O_2$  кои се резултат на контаминацијата од воздухот поради застареност на инструментите при земањето и испитувањето на примероците.

Обилното појавување на  $CO_2$  во повеќе природни извори и во некои од истражните дупнатини, укажува како на висока температура во колекторот на геотермалниот систем, така и на неговите големи димензии. Од друга страна големото појавување на  $CO_2$  во овие води ја потврдува претпоставката за постоење на големи маси на карбонатни творевини во рамките на колекторот на геотермалниот систем “Здравевци”. Со анализирање на резултатите од хемиските анализи на тешките метали се забележува голем дел од испитуваните тешки метали во термоминералната вода од геотермалниот систем Здаревци се во границите на нормалните вредности.

Најновите испитувања на термоминералната вода од геотермалниот систем Здаревци укажуваат дека оваа вода се одликува со зголемени концентрации на поголем број на компоненти во прв ред Sr, Se и As, а кои најверојатно се продукт на класичните хидротермални системи, локализирани на поголеми длабочини.

По извршените теренски, но исто така и лабораториски и физичко-хемиски анализи на минералната вода од истражната дупнатина ЗД - 3 (Табела 4) може да се констатира следното:

Термоминералната вода од геотермалниот систем “Здравевци” припаѓа во категорија на *натриско-калциско-хидрокарбонатни, сулфатно,*

сулфидни и ниско кисели јаглеродкисели хипертерми, што е видно и од процентуалното учество на поедините растворени компоненти во нив. При движењето на таквата вода кон површината на теренот, нејзиниот хемиски состав битно не се менува, но може да се каже дека термалните води ја намалуваат својата температура во однос на температурата измерена во подлабоките делови од дупнатините.

**Табела 4.** Физичко-хемиска анализа на минералната вода од локалитетот Боровиќ, истражна дупнатица ЗД-3

**Table 4.** Physical-chemical analysis of mineral water from the Borovik locality, examined drill ZD-3

Специфична тежина	1.00172			
Ph	6.5			
Сув остаток при 180°C	2.1743			
Температура на водата	48°C			
Температура на воздухот	26°C			
1 (ЕДЕН) ЛИТАР НА ВОДА СОДРЖИ				
	Грами	Милимоли	Миливали	Миливали %
Катјони:				
Натриум (Na <sup>+</sup> )	0.32450	14.1086	14.1086	42.7088
Калиум (K <sup>+</sup> )	0.02500	0.6410	0.6410	1.9404
Литиум (Li <sup>+</sup> )	0.00020	0.0288	0.0288	0.0871
Амонијак (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0	0	0	0
Калциум (Ca <sup>++</sup> )	0.32000	8.0000	16.0000	48.4343
Магнезиум (Mg <sup>++</sup> )	0.02500	1.0285	2.0570	6.2268
Стронциум (Sr <sup>+</sup> )	0.00660	0.0753	0.1506	0.4558
Манган (Mn <sup>++</sup> )	0.00030	0.0054	0.0108	0.0326
Железо (Fe <sup>++</sup> )	0.00090	0.0161	0.0322	0.0974
Алуминиум (Al <sup>++</sup> )	0.00005	0.0180	0.0054	0.0168
Анијони:				
Хидрокарбонат (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1.2200	20.0000	20.0000	51.8153
Хлор (Cl <sup>-</sup> )	0.0800	2.2535	2.2535	5.8394
Бром (Br <sup>-</sup> )	0	0	0	0
Јодид (J <sup>-</sup> )	0	0	0	0
Флуорид (F <sup>-</sup> )	0.0018	0.0947	0.0947	0.2453
Нитрат (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0	0	0	0
Фосфат (HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0.00002	0.0002	0.0004	0.0010
Сулфат (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0.7800	8.1250	16.2500	42.0990
			38.5986	100.0000
Слаби електролити				
Метасилициски киелини	0.6680			
Метаборни киселини	0.0056			
Вкупни суви материи, растворени во вода			3.4579	
Гасови				
Слободен: CO <sub>2</sub>	0.8800			
Слободен: H <sub>2</sub> S	0.0012			
Хемиски својства	Хемискиот состав се карактеризира со натриум, калциум, хидрокарбонати и сулфати. Вкупната концентрација од ред на величини H/1000 изнесува за Na (71.63); Ca (16.0); HCO <sub>3</sub> (20.0); SO <sub>4</sub> (16.25). Водата исто така се карактеризира со присуство на слободен CO <sub>2</sub> (0.88 g/l) и H <sub>2</sub> S (0.0012 g/l).			

Куралова равенка	$H_2S$ 0.0012 $CO_2$ 0.8800 M 3.4579 $\frac{HCO_3}{Na}$ 51.81 $\frac{SO_4}{Ca}$ 42.09 T 45°C 48.43
Категоризација	Водата припаѓа на категорија натриско-калциско-хидрокарбонатни, сулфатно, сулфидни и ниско кисели јаглородни хипертерми

**Напомена:** Анализите се работени во институтот за рехабилитација во Белград 1991 год.

Од приложените анализи (Табела 4) се гледа дека сувиот остаток на 180°C на испитуваната вода од дупнатината ЗД-3 изнесува 2.1743 g/l што значи дека таа ги задоволува критериумите да се класифицира во минерални води.

Исто така од приложената анализа се забележува дека од катјоните со над 20 милавали% застапени се: натриум (42.7088 милвал%) и калциум (48.4343 мвал%), а од анјоните хидрокарбонат (51.8153 мвал%) и сулфат  $SO_4$  (42.0990 мвал%), што овозможува оваа вода да ја воврстиме во категоријата на натриско-калциско-хидрокарбонатна, сулфатна минерална вода.

Врз основа на содржините на  $SiO_2$ , Na, K, Ca и Li, како и врз основа на нивните меѓусебни односи во хидротермалните флуиди на локалноста Боровиќ, преку користењето на соодветни стандардни формули на Fournier, Trusdell, Rowe и Michard, се пресметани и можните температури во подлабоките делови на колекторот. Не навлегувајќи во поединости е констатирано дека таа температура во просек изнесува 174°C. Тоа укажува, покрај останатото, на временски блиско втиснување на магматската интрузија, односно грејното тело, а и на логичен заклучок дека во него денес владеат многу повисоки температури.

Испитуваната вода во себе, покрај останатото, содржи и околу 1/3 на зафатнината на чист  $CO_2$ . Неговата количина во истражната дупнатина ЗД - 3, за изминатите десетина години на слободно истекување на минералната вода не е значајно изменета. Значајни количини на  $CO_2$  се забележни и во поплитките дупнатини со кои не се надупчени (отворени) хидротемалните флуиди. Настанувањето на големи количини на  $CO_2$  најверојатно е последица на есхалациите во завршните фази на терциерниот вулканизам. Присуството на слободен  $CO_2$  (0.8800 g/l) и  $H_2S$  (0.0012 g/l) овозможува при категоризацијата на оваа вода да и се додаде дека таа припаѓа на натриско-калциско-хидрокарбонатни, сулфатно, сулфидно ниско кисели јаглородни хипертерми.

Оваа вода се одликува со зголемени содржини на сулфур и зголемени концентрации на поголем број на компоненти кои највероватно се продукт на класичните хидротермални системи локализирани на поголеми длабочини. Поради ваквиот состав, термонинералната вода од спомнатата локалност, има банеолошки и лековити особини. И покрај тоа, таа денес се користи во ограничени количини, само како квалитетна вода за пиење (Добра Вода). Ваквиот вид на минерални води спаѓа во

вулкански води, кои поради тоа се најбарани на Европскиот и Светскиот пазар на минерални води.

Со испитувањата извршени во 2004 година, направен е обид да се следи хемискиот состав на термоминералната вода со цел да се утврди присуството и варирањето во содржините на поедините елементи, како и да се направи споредба со резултатите добиени од предходните истражувања. Со овие испитувања е опфатена само водата од дупнатините 3Д - 3, 3Д - 4, 3Д - 7 и 3Д - 5, добиените резултати се прикажани во табела 5 и 6.

Од приложените табели 5 и 6 се гледа дека минералната вода од локалноста Боровиќ, се одликува со присуство на поголем број на компоненти кои најверојатно се продукт на класичните хидротермални системи, локализирани на поголеми длабочини.

Содржината на алкалните метали Na и K варира и тоа на Na од 30,54 mg/l (3Д - 5) до 252,12 mg/l (3Д - 3). Содржината на K остено е помала од Na, се движи од 1,28 mg/l (3Д - 5) до 39,28 mg/l (3Д - 4). Содржината на Ca исто така е различна од поедините дупнатини и истата се движи од 273,79 mg/l (3Д - 7) до максимум од 369,07 mg/l (3Д - 4). Магнезиумот не покажува значајни варирања по однос на содржините и истиот се движи во границите од 30,77 mg/l (3Д - 3) до максимум од 71,08 mg/l (3Д - 5).

Од микрокомпонентите во анализираните проби за одбележување се содржините на Al, Cu, Fe, Pb, Zn, Ni, Co, Sr, Ce, Cd, As и Cr. Особено внимание залужуваат содржините на As, Ce и Sr. Во понатамошниот преглед ќе бидат интерпретирани само дел од микроелементите, додека комплетно содржините на сите анализирани елементи можат да се видат во табелите 5 и 6.

Содржината на Al најчесто е околу 0,02 mg/l, додека Mn се движи во границите од 0,209 mg/l (3Д - 3) до максимум 1,07 mg/l (3Д - 5). Железото покажува нешто поголеми варирања во содржините во однос на манганот и најчесто се движи во границите од 0,164 mg/l (3Д - 4) до максимум од 4,99 mg/l (3Д - 7).

Арсенот се јавува во содржини од 0.024 mg/l (3Д - 4) до максимум од 0,301 mg/l (3Д - 3). Содржините на Ce се нешто поголеми и истите се движат од 0.114 mg/l (3Д - 5) до максимум од 0.414 mg/l (3Д - 4). Стронциумот се јавува во зголемени содржини и тоа сите три анализирани примеорци и исти се движи во границите од 3,40 mg/l (3Д-7) до максимум 5,72 mg/l (3Д - 3). Ni и Co исто така се присутни во сите три анализирани примеорци, но истите не покажуваат некои значајни варирања во однос на нивните содржини. Врз основа на досега изнесеното за содржините на макрокомпонентите и микрокомпонентите, може да се забележи дека испитуваните примероци од термоминералната вода од проучуваниот геотермален систем се одликуваат со присуство на голем број на микроелементи кое нешто се должи на геолошката градба на теренот и патиштата низ кои се движеле

флуидите. Исто така видливо е дека елементите како што се Na, Ca се јавуваат во значјно високи концентрации што само ја потврдува нивната класификација во натриско - калциски тип. Исто така посебно внимание заслужуваат високите содржи на As, Sr и Se.

**Табела 5.** Содржина на микроелементите во термоминералната вода од дупнатините ЗД-3, ЗД-5, ЗД-7 и ЗД-4 (mg/l)

**Table 5.** Content of microelements in the thermo mineral water from the drills ZD-3, ZD-5, ZD-7 and ZD-4 (mg/l)

Елемент	Дупнатина	Резултати од испитувањата		
Ca	ЗД-3	353,03	353,03	338,19
	ЗД-5	286,88	286,88	293,63
	ЗД-7	294,61	294,61	273,79
	ЗД-4	369,07	369,07	340,42
Mg	ЗД-3	38,61	30,77	32,25
	ЗД-5	71,08	49,02	58,48
	ЗД-7	43,57	26,93	34,06
	ЗД-4	43,67	31,56	38,32
Na	ЗД-3	223,50	199,86	252,12
	ЗД-5	36,54	30,54	41,34
	ЗД-7	96,93	68,98	89,96
	ЗД-4	214,29	301,21	213,03
K	ЗД-3	37,504	36,32	36,10
	ЗД-5	36,359	1,39	1,27
	ЗД-7	34,050	36,82	26,53
	ЗД-4	39,281	39,21	40,51
Sr	ЗД-3	5,72	5,31	5,27
	ЗД-5	3,71	4,15	4,71
	ЗД-7	4,78	3,40	4,18
	ЗД-4	5,71	5,23	5,21
Mn	ЗД-3	0,230	0,245	0,209
	ЗД-5	0,797	1,076	0,98
	ЗД-7	0,712	0,839	0,66
	ЗД-4	0,227	0,254	0,24
Fe	ЗД-3	0,171	0,205	0,313
	ЗД-5	0,209	1,36	1,204
	ЗД-7	3,065	4,99	3,685
	ЗД-4	0,164	1,78	1,003
Zn	ЗД-3	0,0069	0,008	0,03
	ЗД-5	0,011	0,011	0,015
	ЗД-7	0,013	0,013	0,013
	ЗД-4	0,632	0,012	0,011
Pb	ЗД-3	0,029	0,015	0,016
	ЗД-5	0,017	0,039	0,014
	ЗД-7	0,0067	0,0051	0,0048
	ЗД-4	0,023	0,015	0,019
Cu	ЗД-3	0,0015	0,0028	0,0040
	ЗД-5	0,0036	0,0130	0,0041
	ЗД-7	0,0078	0,0013	0,0071
	ЗД-4	0,0016	0,0016	0,0044
Ni	ЗД-3	0,002	0,003	0,001
	ЗД-5	0,008	0,002	0,006
	ЗД-7	0,001	0,006	0,004
	ЗД-4	0,001	0,0082	0,001
Cd	ЗД-3	0,0016	<0,001	<0,001
	ЗД-5	<0,001	0,0012	0,0005
	ЗД-7	0,0013	<0,001	0,0018
	ЗД-4	0,0002	<0,001	<0,001
Co	ЗД-3	0,0038	0,0030	0,0026
	ЗД-5	0,0036	0,0038	0,0039
	ЗД-7	0,0042	0,0083	0,0030
	ЗД-4	0,0049	0,0041	0,0040
As	ЗД-3	0,301	0,133	0,091
	ЗД-5	0,090	0,067	0,062
	ЗД-7	0,097	0,035	0,107
	ЗД-4	0,069	0,276	0,024



Се	ЗД-3	0,347	0,151	0,148
	ЗД-5	0,114	0,137	0,158
	ЗД-7	0,296	0,129	0,284
	ЗД-4	0,130	0,414	0,233

**Напомена:** Анализите се работени на Факултетот за рударство, геологија и политехника во Штип 2004 год.

**Табела 6.** Тешки и други метали од термоминералната вода од истражна дупнатина ЗД-3 (mg/l)

**Table 6.** Heavy and other metals from thermo mineral water from exanimated drill ZD-3 (mg/l)

Елементи	Нормални вредности	Добиени резултати
As	0.05	0.04
Cd	0.01	0.001
Zn	5	0.03
Pb	0.05	0.005
Cu	1	0.005
Ni	0.01	0.005
Hg	0.001	0.001
Cr	0.05	0.01
Ba	1	0.01
Be	0.0002	0.002
Se	0.01	0.002
U	0.50 µg/l	0.2 µg/l

**Напомена:** Анализите се работени во институтот за рехабилитација во Белград 1991 год.

Изнесените заклучоци за сооставот на минералната вода од геотермалниот систем “Здравевци” се базираат на мал број на анализирани примероци, но сепак даваат солидни информации за составот на водата.

## 15.0 ПРЕСМЕТКА НА МОЖНИТЕ ТЕМПЕРАТУРИ НА КАРПИТЕ И ФЛУИДИТЕ ВО КОЛЕКТОРОТ

Познавањето на хемискиот состав на појавите на термалните води за геотермалните цели, од особено значење се карактеристичните компоненти со кои може да се прогнозира со релативно висока точност, температурата на водите во нејзините примарни извори односно колектори. Овие содржини и реакции на поедините компоненти воопштено се нарекуваат геотермометри. Во извесни случаи можно е да се прогнозира не само потеклото на водата, туку и притисокот под кој се наоѓа водата во примарниот колектор.

Секако дека точностите на ваквите прогнози зависи првенствено од квалитетот на хемиските анализи, но и од карактерот на самата појава на истражување на водата и посебно од тоа дали и во која мерка доаѓа до мешање на термалните води со ладни приповршински води, при што

хемискиот состав на термалните води може многу да се измени. За сето ова мора да се води сметка при оцена на пресметаните вредности на температурата кај оделни компоненти.

За прогнозирање на температурата на флуидот во примарниот резервоар се користат квантитативни и квалитативни методи (геотермометри). Квалитативните геотермометри се аномални концентрации на некои од елементите, или аномални односи на јоните во површински и подземни води или во земјата, кои можат да укажат на постоење на зголемени температури во оделни делови на земјината кора. Меѓу овие геотермометри најзначајни се: исталожувањето на опал и травертин, потоа односите помеѓу содржините на Na/K, Na/Ca, Mg/Ca, потоа содржините на Mg, Ca и  $\text{HCO}_3$  во водите и во земјата.

Квантитативните геотермометри можат да бидат хемиски и изотопски. Веќе спменавме дека изотопските испитувања досега овде не се вршени, па останува само да се каже дека хемиските геотермометри се базираат на хемиската рамнотежа помеѓу геотермалниот флуид и минералите кои се застапени во колекторот. Најважна е рамнотежата помеѓу кварцот ( $\text{SiO}_2$ ) и алкалните фелдспати, каде разликуваме кварцни катјонски геотермометри.

Силициските геотермометри се базираат врз растворливоста на калцедонот, односно кварцот во хидротермалните флуиди на примарниот колектор, чија температура е најчесто над  $150^\circ\text{C}$  (температурен опсег од 0 -  $250^\circ\text{C}$ ). Концентрацијата на  $\text{SiO}_2$  во термалните води се користи за прогноза на температурата со помош на кривата која Fournier i Trusdel (1977) ја добија по експериментален пат. На слика 28 се гледа дека и податоците кои ние ги добиваме со пресметката се поклопуваат со оваа крива, што значи дека се коректни. Постојат повеќе формули кои денеска се користат за пресметка на прогнозните температури, а за пресметка на прогнозните температури во геотермалниот ситем Здравевци кои ние ги користевме се прикажани во Табела 9.

Со користењето на наведените формули и податоците од хемиските анализи (табела бр. 7), ги пресметавме прогнозните температури на геотермалниот систем Здравевци, а кои се прикажани во табела бр. 8.

Како што се гледа од табелата, пресметаните температури имаат кај сите геотермометри високи или екстремно високи вредности. Меѓутоа, извесно е дека добиените вредности не можат априори да се земат како реални, особено и од следните важни причини: во принцип (како што покажаа испитувањата на повеќе автори), кварцниот геотермометар има најголема примена и најдобар е за водите, односно хидрогеотермалните флуиди чија температура во примарната акумулација е околу или над  $150^\circ\text{C}$ , но може да даде и погрешни резултати во случајот кога флуидот содржи големи количини на  $\text{CO}_2$  или кога постои влијание на издвојувањето на врела пареа. Освен тоа, постои можност за

полимеризација и таложење на силициумот пред или по земањето на примерокот поради влијанието на  $P_h$  на растворливоста на кварц, а и поради можноста на мешањето на топла, односно врела вода со ладните приповршински води.

Хемиски состав на термалните води од геотермалниот систем “Здравевци”  
Chemical content of thermo mineral water from geothermal system “Zdravevci”

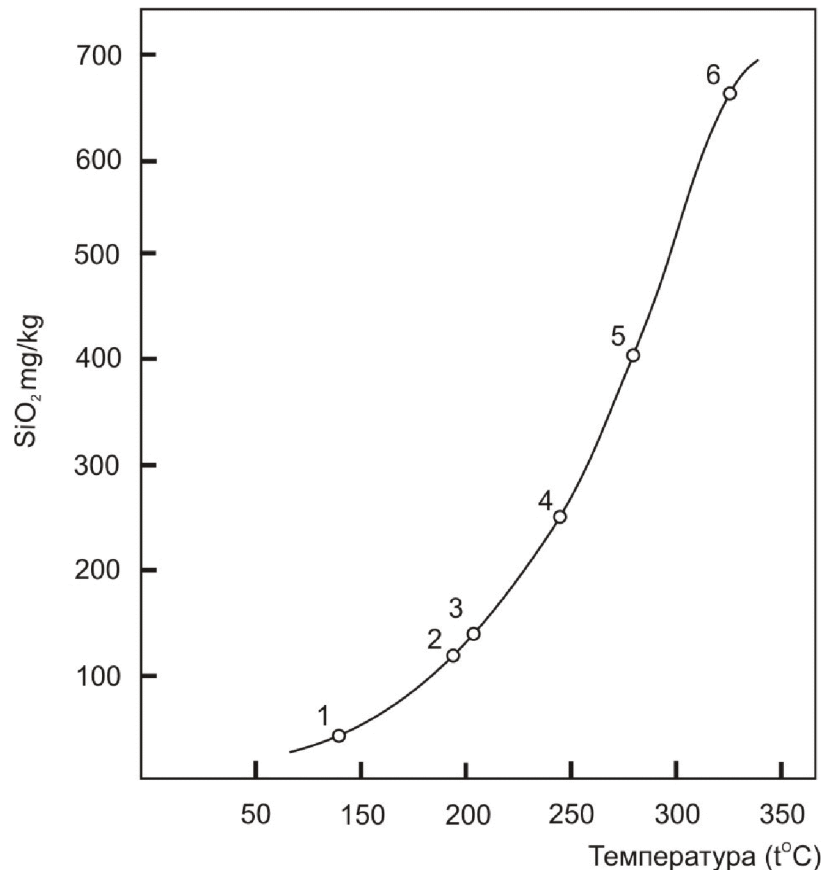
ја	Дата	1 °C	pH	SiO <sub>2</sub> mg	Li mg	Na mg/mol	K mg/mol	Ca mg/mol	Mg mg/mol	SO <sub>4</sub> mg	Cl mg	CO <sub>2</sub> слободен	H <sub>2</sub> S mg	F mg	Σ минер. mg.l
о-	16.12.86		6.3	40.0		<u>184.0</u> 8.00	<u>25.4</u> 0.642	<u>450</u> 11.23	23. 8	848.5	53.7				2131.1
о-	16.12.88		7.48			<u>6.6</u> 0.374	<u>3.9</u> 0.0998	<u>21.5</u> 0.536	66.7	110.1	10.4				436.66
	27.07.92		7.42	258		<u>24</u> 1.044	<u>35</u> 0.896	<u>124.8</u> 3.113	39.6	22 2.7	18.0			0.10	710.1
	22.06.91	43	6.5	668.0	0.2	<u>324.5</u> 14.120	<u>25.0</u> 0.641	<u>320.0</u> 6.6	25	780.0	80.0	880	1.2	1.8	2154.5
	27.07. 92	45.4	5.03	415.0		<u>249.0</u> 10.831	<u>33.0</u> 0.845	<u>351.0</u> 8.757	83.8	824.34	53. 0				2032.14
	27.07.92		6.82	411.0		<u>251.0</u> 10.918	<u>38.0</u> 0.973	<u>335.0</u> 8.258	226.0	374.0	35.0			1.5	1687.0
о-	18.12. 88					<u>123.3</u> 5.563	<u>10.7</u> 0.271	<u>304.6</u> 7.8	90.0	332.2	36.0				1382.8
	27.07.92		6.66	454.0		<u>175.0</u> 7.612	<u>53.0</u> 1.359	<u>284.0</u> 7.088	90.0	332.0	36.0			2.0	1456.2
	10 .92		7.71	138.7		<u>17.5</u> 0.766	<u>2.0</u> 0.051	<u>41.04</u> 1.023	34. 4	14.1	12. 0			0.10	404.8
	10.92		7. 98	120.4		<u>24.4</u> 1.061	<u>3.1</u> 0.079	<u>45.98</u> 1.147	41.04	11. 54	23.0			0.10	460.9

вземени од Елаборатот од 1993 година

**Табела 8. Прогнозни температури на геотермалниот систем “Здравевци”**  
**Table 8. Forecasted temperatures of geothermal system “Zdravevci”**

Лабораторија	Дата	T (SiO <sub>2</sub> )			T (Na+K)	T (Na+K+Ca)	T (Na+K)	(Na+Li)
		Tch калцедон	Tgz кварц	Tgz кварц со мах. губиток		B-1/3 t>100°C		
метеоро- завод	16.12.68	63	92	94	231	90	215	
метеоро- завод	16.12.68	-	-	-	425	165	325	
ички	27.07.92	372	198	153 "	- 852	226	503	
д	22.06.31	260	280	247	170	113	176	152
ички	27.07.92	212	236	213	226	115	213	
ички	27.07.92	211	235	212	241	120	223	
метеоро- завод	18.12.88	-	-	-	161	95	163	
ички	27.07.32	220	244	219	344	149	263	
ички	10. 92	129	156	149	208	105	243	
ички	10.92	120	148	142	221	111	252	

е се превземени од Елаборатот од 1993 година



**Слика 28** Теоретска крива за концентрација на  $\text{SiO}_2$  во термалните води во зависност од температурата (Fournier и Truesdell) и добиените вредности од поедини локалитети на хидротермалниот систем “Здравевци”

1. ZD-1, 2. Скок, 3. Солиште, 4. ZD-2, 5. ZD-4, 6. ZD-3

**Picture 28** Theoretical curve for the concentration of  $\text{SiO}_2$  in the thermal water depending the temperature (Fournier и Truesdell) and the gained values from separate localities of the hydrothermal system “Zdravevci”

1. ZD-1, 2. Jump, 3. Salts, 4. ZD-2, 5. ZD-4, 6. ZD-3

Геотермометарот  $\text{Na/K}$ , како што покажаа многубројни искуства во светот, дава надежни резултати кај повисоките температури (особено од  $180 - 200^\circ\text{C}$ ), но се многу непогодни за водите со пониски температури, особено кога се тие богати со калциум, каков што е случајот и кај геотермалниот систем Здравевци.

Поради ограничената примена на  $\text{Na/K}$  геотермометри на водите со пониски температури, R. Fournier и Truesdel (1993) предложија  $\text{Na-K-Ca}$  геотермометри, и тоа особено за водите богати со калциум, каков што е и нашиот случај. Меѓутоа, треба да се има во предвид дека промената на концентрацијата поради вриењето и поради мешањето со водите кои имаат пониски температури, имаат влијание на  $\text{Na-K-Ca}$  геотермометар, поради губиток на  $\text{CO}_2$ , што предизвикува таложење на  $\text{CaCO}_3$ . Со тоа, влијание на погодноста на овој геотермометар можат да имаат и



зголемени концентрации на  $Mg^{++}$ . Имајќи го предвид напред спомнатото, ние сепак сметаме дека пресметаните вредности за Na-K-Ca геотермометарот најверојатно најреално ги одразува температурите во колекторот на геотермалниот систем Здравевци.

**Табела 9.** Хемиски геотермометри применети за прогнозирање на подземни температури во геотермалниот систем “Здравевци”

**Table 9.** Chemical geothermometers applied for forecasting underground temperatures in the geothermal system “Zdravevci”

Геотермометар	Равенка (концентрации mg/l)	Автор
t(ch) калцедон	$1112(4.91 - \log SiO_2) - 273.15$	Arnorsson и др. 1983
t(qz) кварц	$1309(5.19 - \log SiO_2) - 273.15$	Fournier, 1977
t(qz) кварц со губ. на пареа	$1522(5.75 - \log SiO_2) - 273.15$	Fouillac, 1981
t (Na-K)	$933(\log Na/K + 0.993) - 273.15$	Fournier, 1983
t (Na-K-Ca)	$1647(\log(Na/K + (\log(\sqrt{(Ca/Na)}))) + 2.06) + 2.47 - 273.15$	Fournier, 1973
t (Na-Li)	$1195(\log Na/Li - 0.13) - 273.15$	Fouillac, 1981

Геотермометарот Na/Li последен е воведен од страна на С. Fouillac i G. Michard (1981), и во последните години често се применува од причина што не е зависен од повеќе различни модификации како другите геотермометри. Тој дава најреални податоци за водите богати со  $CO_2$ , какви што се и овие од геотермалниот систем Здравевци. Како што се гледа од табела бр. 7, ние, за жал, до сега имаме само една анализа на Li, изработена во Институт за рехабилитација во Белград, така да не сме во можност да донесуваме поодредени заклучоци, но може да се каже дека пресметката прогнозира температура во примарниот колектор од  $152^{\circ}C$  е во голема мерка согласна со пресметаните температури со помош на Na-K-Ca геотермометри.

Од сето напред изнесено се гледа дека и покрај големата променливост на хидрогеохемиските температури и покрај некои спречувачки фактори, тие ни даваат корисни информации во поглед на прогнозните температури кои веројатно владеат во колекторот на хидрогеотермалниот систем Здравевци. Секако дека добиените геотермометарски прогнози во идните истражувања треба да се проверуваат и дополнуваат, особено со користење на изотопскиот геотермометар, кој дава посигурни прогнози на можните температури на хидрогеотермалниот систем Здравевци.

Користејќи ги нашите општи геолошки, хидрогеолошки и геотермални сознанија за геотермалниот систем Здравевци (кои сеуште не се на завидно ниво), ние сепак сметаме дека во подлабоките делови на колекторот можат да се очекуваат температури и до  $150^{\circ}C$ . Поради тоа, ние во пресметката за можниот геотермален потенцијал зедовме како

средна можна температура во колекторот на геотермалниот систем Здравевци - 120°C.

## **16.0 ПРОГНОЗЕН МОДЕЛ**

Сумирајќи ги сите резултати кои се добиени од досегашните истражувања на СИ дел од Кратовско-Злетовска вулканска област и западниот дел на осоговските кристалини, а кои потекнуваат од различни автори, геолози или геолошки екипи, а и нашите повеќегодишни теренски, лабораториски и други истражувања и испитувања, денеска сме во можност да сочиниме првпрелиминарен модел на геотермален систем "Здравевци".

До основните податоци за изработка на овој модел и за објаснувањето на неговото функционирање, дојдено е со примена на различни геолошки методи (геоморфолошки, аерофотогеолошки, структурно-геолошки, петролошки, геохемиски, историскогеолошки, геофизички и хидрогеолошки), како и методи на идните на истражување на лежиштата на минерални сировини (првенствено со длабинско истражно но бушење).

Како се геотермалните истражувања на геотермалниот систем "Здравевци" денеска наоѓаат во претходна до полудетална фаза на истражувањата (брз реализирани длабоки структурни истражни дупнатини или бунари), нашите согледувања во поглед на битни елементи, на овој систем, како што се: битни карактеристики на колекторот на геотермалните флуиди, кровинскиот и подинскиот изолатор, грејните тела, подрачјето на прихранување на системот, температурите во длабоките делови на системот и др. , тогаш е јасно дека со реализацијата на идните подетални истражувања ќе може да се сочини таков модел на геотермалниот систем "Здравевци", во кој ќе бидат елиминирани најголем дел од дилемите кои ги ние имавме при составувањето на овој прв и прелиминарен модел (слика 26).

Имајќи го предното во предвид, може да се констатира следното:

Геотермалниот систем, кој го нарекуваме "Здравевци" просторно завзема голем дел од централен, северен и СЗ дел од Кратовско-Злетовската вулканска област, како и западниот дел од Осоговските кристалини и терциерните флишолоки творевини кои се распространети од Кумановската котлина па во правец на ЈИ до северен ободен дел на Овче Поле. Sprema нашите денешни согледувања, тој се распростира на површината поголема од 500 km<sup>2</sup>.

Геотермалниот систем "Здравевци" тесно е врзан за просторната положба, генезата и еволуцијата на основен структурен облик на овој простор, кој го нарекуваме "Криворечка синклинала", која преставува една вулкано-тектонска депресија со генерално протегање по правец СЗ - ЈИ. Формирањето и еволуцијата на криворечката вулкано-тектонска синклинала тесно е врзана со тир. "главна тектонска линија на

Балканскиот Полуостров", а воедно таа е и граница помеѓу Српско-Македонска маса и Вардарска зона.

Ова раседна линија, или подобро речено сложена раседна зона, воедно претставува и приближна оса на Криворечка синклинала, која по се изгледа, благо тече во правец на СИ.

Главна причина за формирањето на Криворечката синклинала е, без сомнение, постепено тонење на различни по старост и состав метаморфни и седиментни (покасно и вулканогено-седиментни и вулкански) творевини како последица на празнење на низа вулкански огништа кои беа линеарно поредени долж главната раседна линија или релативно блиску до неа. Секако, во нејзиното формирање знатно влиание имаше и притисокот на карпестите маси над овие вулкански огништа, чија количина непрекинато се зголемувала со редовна вулканска активност на овие простори, низ релативно долго геолошко време (од крајот на палеоген до почеток на квартал).

Латералните делови на Криворечката синклинала релативно добро се видливи во нејниот СЗ дел, особено нејното ЈЗ крило, додека е СИ крило во голема мерка маскирано со изливи на вулкански карпи и нивните пирокластички (профил С-D, Слика 25). Во правац на ЈИ оваа синклинала во голема мерка е покриена со вулканоген материјал, но нејзините контури се назираат се до долниот тек на Злетовока Река и Кочанска котлина. Да додадеме уште и тоа, дека во превец на СЗ кон Кумановско Поле не е извесно простирање на Криворечката синклинала каде всушност се наоѓа и соседното геотермално поле, т.е. геотермален систем "Стрновац".

Не влегувајќи во други детали за структурно-геолошка градба, за кои впрочем порано ги изнесовме до сега расположивите податоци, прогнозен модел на геотермален систем "Здравевци" ги има следните битни елементи (Слика 26).

## **16.1 Кровински изолатор**

Кровински изолатор, кои има термоизолаторски и хидро изолаторски особини, изграден е од комплекс на олигомиоценски и плиоценски вулканогено-седиментни творевини со многу хетероген состав, кои суперпозиционо често се сменуваат. Изолаторски својства меѓу нив имаат особено различни видови на стратификувани вулканогени лапоровито-глиновити творевини кои се таложени во водената средина (субмарински или лимнички депозициони услови). Хидрогеотермалните флуиди низ ваквата средина можат да се движат само во случај на постоење на дополнително створени раседи или раседни зони, покрај вулканските канали и/или со ерозијата откриени субвулкански пробои.

Според досегашните сознанија, кровинскиот изолатор кај геотермалниот систем "Здравевци" има максимална дебелина по голема и од 1.000 m.

## **. 16.2 Акумулација на хидрогеотермалните флуиди (колектор)**

Акумулација на хидрогеотермални флуиди (колектор) има многу сложена градба кај геотермалниот систем "Здравевци". Освен за неговата структурно-геолошка и литолошка градба, постојат и дилеми за неговата дебелина, "хоризонтална" распространетост потоа за порозност, испуканост, кавернозност и др.

Во градбата на колекторот учествуваат различни по геолошката старост творевини и тоа: палеогени (еоценски и олигоценски), горнокредни (возможно е дури и јурски) флишолики творевини и палеозојски мермери и/или циполини.

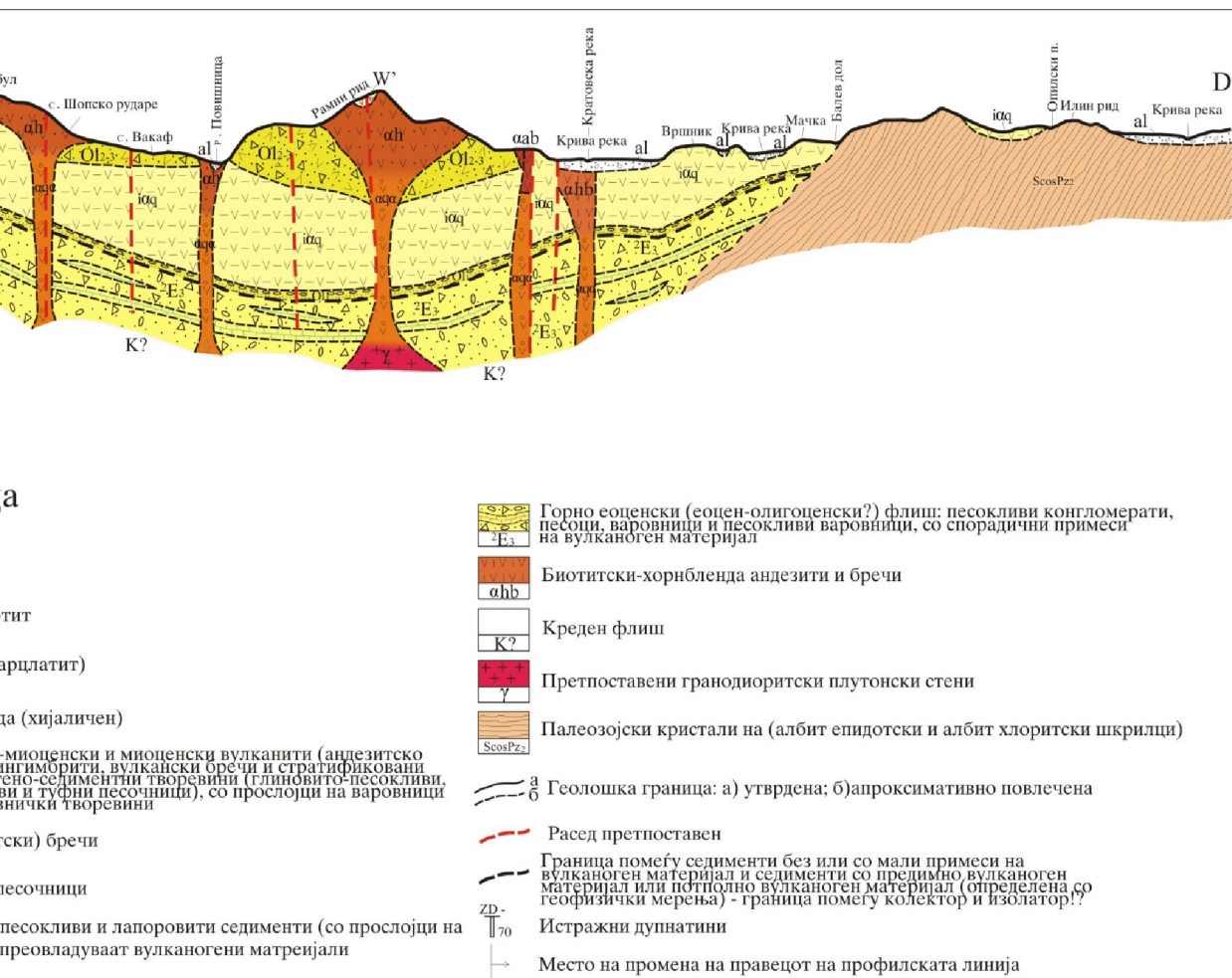
Во принцип флишните творевини имаат повеќе изолаторски одколку колекторски карактеристики. Меѓутоа, горноеоценските творевини на овој простор сосема ретко и изолирано содржат во себе непропусни глиновити или лапоровити прослојки, туку се тоа најчести различни видови пермеабилни песоци или песокливи конгломерати со карбонатно врзиво. Што е најбитно, во нив се чести тенки или подебели прослојки на песокливи варовници или слоеви на варовници, чија дебелина оди од неколку десетици сантиметри до десетина метри, а како што видовме порано во истражната дупнатина бр. 571 кај с. Шлегово) и преку 100 m. Како се овие еоценски творевини често и тектонски деградирани, сосема е извесно дека во нив во текот на времето се формирала порозност, испуканост и кавернозност, односно средината поволна за акумулирање на хидрогеотермални флуиди.

Слична е состојба и со горнокредните флишолики творевини, во кои (покрај песочници и лапорци) преовладуваат варовници чија вкупна дебелина преминува и 200 m. Каква е нивната порозност или карстифицираност во длабина, за сега можеме само да претпоставуваме.

По геолошка логика можна е и претпоставката дека во овој простор под кредните, можеби лежат и горнојурските флишолики творевини кои на пример, имаат широко распространение на источните падини на Скопска Црна Гора, па и во долината на реката Пчиња. Но, за едно такво тврдење за сега немаме доволно податоци.

За природата на палеозојските мермери и/или циполини кои највероватно ги изградуваат најдлабоките делови на колекторот на геотермалниот систем "Здравевци", ние за сега можеме само да претпоставуваме. Ние сметаме дека овие мермери и циполини се аналогни на оние кои се познати во најгорниот дел од старопалеозојски кристалини на осоговијата, чија вкупна дебелина достигнува и до 300 m. Како што се гледа на моделот прелиминарната претпоставка е дека вкупната дебелина на колекторот на геотермалниот систем "Здравевци", може да достигне скоро 1.000 m. Прва проверка на оваа претпоставка

можат да бидат резултатите од длабоки геоелектрични сондирања, а посебно, секако, длабоки структурни истражни дупнатини.



Географски геолошки профил C-D на термоминералните води Здравевци (Ракиќ, 1994)  
Geological profile C-D of the thermo mineral water Zdravevci (Rakic, 1994)



### 16.3 Подински изолатор

Подински изолатор за хидрогеотермалните флуиди веројатно се различни видови на пред палеозојски и палеозојски кристалини, односно во некои случаи возможно е и најгорните делови од претпоставениот гранодиоритски плутон или некогашните вулкански огништа.

### 16.4 Грејни тела односно извор на топлината

Грејните тела односно извор на топлината кај геотермалниот систем "Здравевци", по нашето мислење се плутонски гранодиоритски карпи, чии апикални делови веројатно се наоѓаат на длабина не поголема од 1.500 m. Тие плутонски маси, претпоставуваме, имаат и свои "ограноци" во вид на посебни некогашни вулкански огништа или поголеми субвулкански пробои, од типот на Здравчи Камен, или можеби, и поголеми кои се наоѓаат блиску до денешната површина на теренот.

Заради оцена на возможната глобална геотермална потенцијалност на просторот кои е предмет на нашите истражувања, врзана за големината на грејните тела, длабината на која се наоѓаат и температурата која тие денеска имаат, потребно е накратко да се осврнеме и на некои современи теоретски поставки во тој смисол.

Според Карамата магматските маси како извор на топлината многу се интересни во нашето подрачје, посебно во Вардарската зона и околу неа, каде имаме присуство на млад вулканизам кои може да биде причина за загревање на подземни водени маси.

Тој истакнува дека базичните магматски маси имаат, помало значење поради нивниот помал вискозитет и полесно втиснување вдоль тесните доводи и канали блиску до земјината површина, поради што се многу брзо ладат. Меѓутоа, киселите или блиску до киселите магми имаат знатно поголема вискозност поради што при своето, движење кон површината, со најголем дел заостануваат во помала или поголема длабина и градат големи магматски огништа, каков е, изгледа, и случајот во просторот каде е лоциран геотермален систем "Здравевци". Преместување и втиснување на магматските маси блиску до површината и нивното бавно ладење, особено кај геолошки млад вулканизам каков е овој во Кратовско-Злетовската област, резултира со денеска можни температури на овие сега консолидирани магматски маси од 200 - 400°C.

Нашите аргументи во прилог на предната констатација сеуште немаат доволно егзактна подлога, но не е сувишно да посветиме внимание и на следните факти:

*Типични солфатарско-фумаролски производи* (ексхалационен-сулфур, хидрокварцити, калцит, гипс, алунит, бигор), како и други различни видови на хидротермални измени, кои се маркантни и лесно воочливи

во повеќе добро сочувани калдери, кратери или нивните ободни делови (во Туралевски Кратер, Плавичка и Црновршка калдера, Плешинци и др.), без сомнение укажуваат на тоа дека се овде работи за млад и "неодамна" завршен вулканизам и за релативно плитки и млади интрузии на магматски карпи;

*Појави на хидрокварцитните жици* со релативно висока содржина на минералите на манган во с. Г. Куклица укажува на нивното потекло од високо температурни фумароли, односно од термалните иоточици со висока содржина на  $\text{CO}_2$  аналогно на многу други вакви појави во светот; *Аномални содржини на Au и Ag* во секундарните кварцити или во другите кратерски фации на карпи во Пластица, Црни Врв, Туралевски Кратер и др., исто така се образувани во врска со високотемпературни хидротерми врзани за геолошки млада солфаторско-фумаролска дејност, аналогно на современите врели гејзери во Јелоустонски парк, Стимбот спрингс во Невада, Ваирани на Нов Зеланд и др.

Илустративен пример е појавата на термоминералните води кај палеохидротермалната појава број 1 "Здравевци" во реката Повишница. Имено, пред да бидат издупчени истражните дупнатини ZD-1 и ZD-3 во коритото на реката Повишница од повеќе места од ситни пукнатини излегуваше минерализирана вода со гас  $\text{CO}_2$  и температура од  $18\text{--}20^\circ\text{C}$ . Во ZD-1 термоминералната вод на длабина од 47 метри беше со самоизлив и температура од  $30^\circ$ . Во ZD-3 која е издупчена во близина на ZD-1 на длабина од 180,2-183,4 метри термоминералната вода е со доток од 6 l/s и температура од  $44,4^\circ\text{C}$ , додека во интервалот од 202,4-205,4 метри дотокот е 5 l/s и температура од  $48,5^\circ\text{C}$ . Овој податок укажува дека термоминералната вода одејќи од примарниот колектор кон површината се лади вероватно поради долгите транзитни патишта и мешањето со ладни вадозни води. Температурата прогресивно расте одејќи во длабина кон примарниот колектор. Ваков прогресивен раст на температурите во длабина не може да се очекува бидејќи би добиле екстремно високи температури блиски до критичната температура на водата ( $374^\circ\text{C}$ ). Меѓутоа и овој индиректен податок укажува дека во најдлабоките делови на колекторот можат да се очекуваат температури на геотермалните флуиди поголеми од  $150^\circ\text{C}$ , кое нешто се совпаѓа со податоците добиени преку геохемиските геотермометри (особено преку содржината на  $\text{SiO}_2$ ).

За оцена на изворите на топлината (грејните тела) во овој простор покрај другото е и *одредување на апсолутната старост* на остапните субвулкански пробои на дацито-андезити (кварцлатити, латити, габродијабази), кои се познати на повеќе локалитети на овој простор. Сиромашните податоци за оцена на нивната релативна старост зборуваат дека се вероватно втиснати и консолидирани некаде во текот на плиоцен а можеби и покасно (на почеток на квартал). Резултатите од

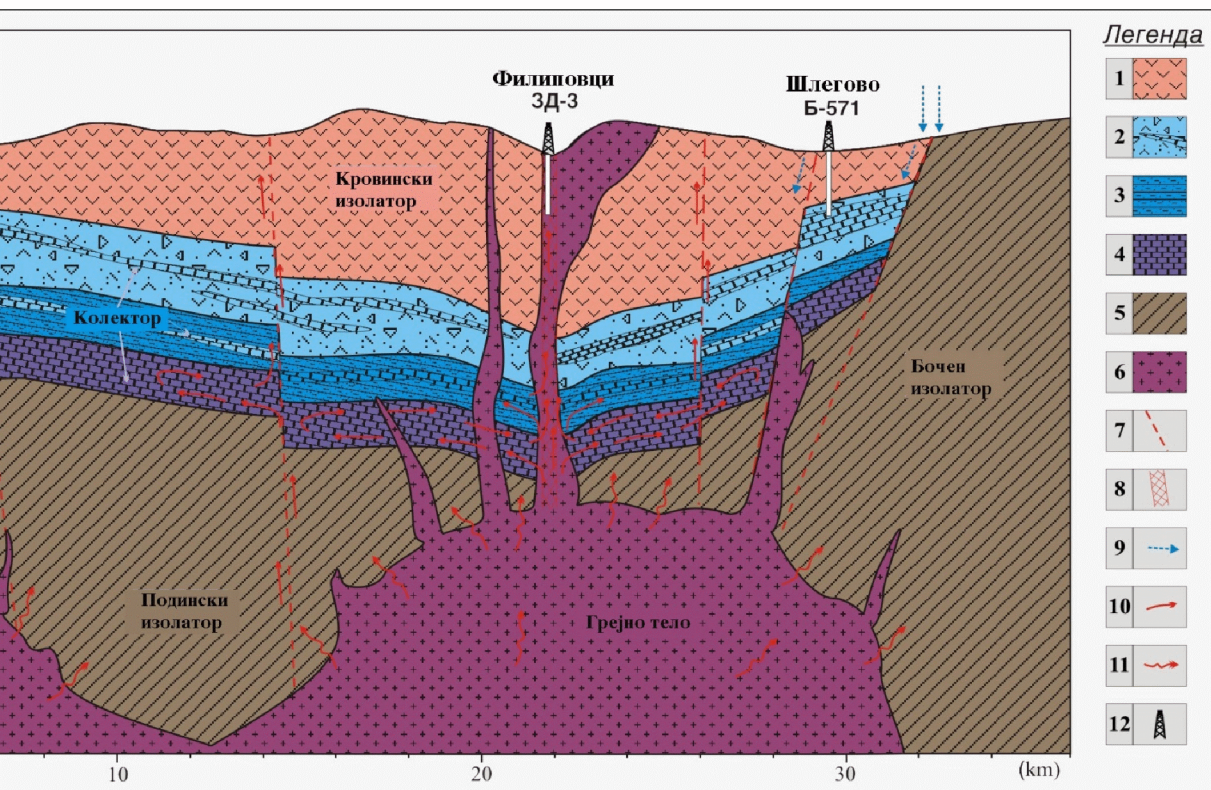
испитувањата кои се држат во тој правец (одредување на апсолутната старост на неколку примероци од пробои на Здравчи Камен, Св. Димитрије и Туралевски Кратер) во лабораториите на Руската академија на науките и во Бугарска академија на науките, ќе дадат драгоцен податоци во таа насока.

*Измерените температури* на средината во истражните дупнатини и пресметаните вредности на геотермален систем, односно геотермален градиент покажуваат без сомнение значајни позитивни аномални вредности во приближно оној простор во кои и геофизичките испитувања (гравиметрија) укажуваат на гравиметриски максимуми, кои можат да се толкуваат како резултат на влианието на масите на гранодиоритски "високи плутон" во пределот помеѓу Туралевски Кратер и Црни Врв, односно с. Шлегово и с. Сакулица.

Како што се гледа од табелата, пресметаните вредности на геотермален степен често се два, па и три пати поизразени од просечните вредност на ГС за континентален дел од Европа и изнесува 33 p/ C, по некои автори - 31,2 m/°C па, на пример, кај дуп. GC - 1 изнесува само 8,11 m/°C, кај ZD - 2 13,65 m/°C до 24 m/ °C во ZD - 6 и 2 ZLB - 1. Податоците за ZD - 4 не се валидни поради присуство на термоминерална вода со самоизлив, а кај ZB - 1, вредноста ГС е скоро "нормална" (29,31 m/C) поради локалните литолошки прилики и знатната оддалеченост од претпоставеното "грејно тело". Екстремно "негативните" вредности на ГС кај SDB - 2 во пробојот на габро-дијабаз во ридот Св. Димитрија, допрва треба да се протолкуваат.

*Идентификацијата на грејните тела* во овие простори, одредување на длабината на која се тие наоѓаат, нивните можни димензии и температури кои тие денеска ги имаат, не е значајна само од аспект на "загрејувачи" на геотермалните флуиди во овие простори, туку можеби повеќекратно можат да имаат значење како носители на геотермална (литогеотермална) енергија, односно на топлина од "сувите" карпи.

Како што е познато литогеотермалните ресурси или топлината на "сувите" карпи ("Hot Dry Rock") е најзначаен геотермален ресурс, на кој се базира и перспективата да геотермалната енергија стане најзначаен алтернативен извор на енергија по исцрпување на класичните енергенти (јаглен, нафта и др.). Спрема тоа, истражувањето на младите магматски интрузии, кои изгледа се наоѓаат релативно плитко под земјината површина во пределот на распространението на геотермалниот систем "Здравевци", може и треба во идните истражувања да има приоритетно и големо значење.



**Слика 26.** Прогнозен модел на геотермалниот систем "ЗДРАВЕВЦИ"  
и вулканогено-седиментни творби; **Акумулација на хидротермални флуиди (колектор):** 2. Еоцен-олигоценски флишоидни седименти, 3. Јураски и карбонови седименти; **Подински изолатор:** 4. Палеозојски мермери и циполини; **Подински изолатор:** 5. Комплекс на прекамбриски и старопалеозојски карпи; **Грејно тело:** 6. Гранодиоритово тело, 7. Рифт вали, 8. Рифт вали, 9. Атмосферски води, 10. Хидротермални флуиди, 11. Кондуктивен пренос на топлина, 12. Истражна дупнатиња.

**Figure 26.** Forecasted module of geothermal system "ZDRAVEVCI"  
and volcano-sediment constructions; **Accumulation of hydrothermal fluids (collector):** 2. Eocen-oligocenic filshoid-sediments; 3. Jurassic and carboniferous sediments; **Flooring isolators:** 4. Paleozoic marbles and old-paleozoic rocks; **Podin floor:** 5. Complex of precamium and old-paleozoic rocks; **Heating element:** 6. Granodiorit plutone; 7. Rift valley, 8. Rift valley, 9. Atmospheric water, 10. Hydrothermal fluids, 11. Conductive transfer of heat, 12. Examined drill.

Други можни видови на извори на геотермалната енергија и во овие простори како што се на пример: топлината од распаѓањето на радиоактивните елементи, од гравитација и гравитациони елементи, топлина од разни видови хемиски реакции, од земјотресите и неотектонските движења, од литификационите процеси и др., имаат секундарно или терциерно значење во овие простори, што не значи дека истражувањето на нивното значење во иднина треба да се занемари.

#### 16.5 Зони на прихранување

Искуствата од досегашните обемни и детални геотермални детални геотермални истражувања кај нас и во светот, покажаа дена хидрогеотермалните флуиди, кај современите хидрогеотермални системи не се од јувенилно, туку од вадозно потекло. Таков е случај, без сомнение и кај хидрогеотермалниот систем "Здравевци".

Спрема тоа, останува прашање каде се наоѓаат подрачја или зоните на хранењето на хидрогеотермалниот систем "Здравевци? Веднаш треба да истакнеме дека тие до сега не сме собрале доволно егзактни податоци во овој поглед, што значи дека во натамошните истражувања и на овој проблем треба да му се обрне должно внимание.

Сепак, за нив ги имаме и денеска доволно аргументи за да дадеме основана прогноза за зоните на минималната инфилтрација на атмосферските талози, односно на површинските води со кои се прихранува колекторот на хидрогеотермалниот систем "Здравевци".

Нив порано, при описот на геолошката градба на теренот, истакнавме дека комплекс на еоценски творевини, кои имаат широко распространение на западниот и јужниот дел од овој простор, а спрема нивниот литолошки состав и физичките особини, како и литостратиграфска позиција, тие имаат посебно значење од аспект на инфилтрација на атмосферските талози и површински води, поради изразената порозност и водопрпусност.

На влегувајќи овде подетално во литолошкиот состав на овие доста хетерогени творевини обрнуваме внимание на нашите забелешки во врска "водниот биланс" на сливот на р. Лука лева притока на Пчиња (на западниот дел од овој терен). Приближително такви хидрогеолошки особини имаат еоценските творевини и околу устието на Крива Река во Пчиња и на северниот и СИ ободен дел на Овче Поле. Внимателен набљудувач лесно приметувa дека на овие простори не постои нормална поточно речна мрежа со карактеристични облици на речната ерозија (изразени јаругасти речни корита) како што се тоа случај на другите поблиски локалитети, каде се литолошките прилики поразлични. На целиот овој простор доминатни се суводолици каде дури и во времето на посилни сезонски врнежи тешко се приметувa нормално истекување кое нешто веројатно е последица на брзото понирање во песокливо-конгломератични слабо врзани и порозни творевини.

Да додадеме дека за нив сеуште малку знаеме за видот на порозноста или дури можната карстифицираност на варовнички песочици со предимно варовнички цемент (од 30 - 85% на волуменот на карпата), потоа на слоеви и прослојки на прави варовници, кои имаат големо распространение во рамките на овие флишолики еоценски творевини, кои можат да ја зголемат инфилтрацијата на површинските води, општата интензивна циркулација на подземните води и нивната акумулација во колекторот на хидрогеотермалниот систем "Здравевци". Слични вакви прилики можат да се очекуваат и на други локалитети каде еоценските седименти се јавуваат на помали простори (во атарите на с. Бељановци, Коњух, Талашманце, Железница и др) кои, исто така, претставуваат подрачја од кои се врши прихранување на хидрогеотермалниот систем "Здравевци".

Колкаво е учеството на другите литостратиграфски единици или комплекси на овој простор во прихранувањето на хидрогеотермалниот систем "Здравевци", многу е тешко со сигурност да се оцени. Извесно е да таква можност постои особено преку многубројни раседи и раседни зони и тоа само во случај ако тие не се "затворени" со геолошки млади или рецентни хидротермални творевини и сл. Во тој поглед во иднина би требало да се проучи дали и во која мерка имаат значење и палеозојските мермерни маси околу коритото на Пчиња ЈИ од Куманово), а и оние СЗ од Старо Нагоричени.

Можноста за истекнување на термоминералните води од овој простор постои и долж ободните делови на субвулканските пробиви на дајковидни или нековидни маси, каков е на пример и Здравчи Камен. Овде, на контактот помеѓу палеозојските кристалини и субвулканскиот пробив на кварцлатитите веројатно дотекува и термоминералната вода на "Кратовска Кисела Вода", односно "Гоцева Чешма".

#### 16.6 Зони на истекување

Спрема досегашните сознанија, истекнување на хидрогео-термалните флуиди од геотермалниот систем "Здравевци"возможен е и врши се денеска во ограничен обем само преку субвертикални раседи или раседни зони, а во неколку последни години и преку неколку плитки истражни бушотини кои се избушени на, или во близина на тие раседи или раседни зони.

Длабината до која се инфилтрираат вадозните води во колекторот на геотермалниот систем "Здравевци" а сега е тешко со поголема сигурност да се прогнозира, но нив прелиминарно цениме дека таа (длабина) може да изнесува околу 2.000 m под површината на теренот, т.е. до палеозојските пропусни кристалини или плутонските маси.

Со оглед на прогнозираните големи димензии на колекторот, и на изгледа, поволни услови на прихранување, возможна е и прелиминарната оценка за проволната обновливост, на водите во геотермалниот систем "Здравевци". Оттаму возможна е и прогнозата дека во идната експлоатација може да се



очекува континуирано да се користат термоминералните води во количини знатно поголеми од 100 l/s.

Природните зони на истекнување на хидрогеотермалните флуиди од геотермалниот систем "Здравевци" практично се поклопуваат со палеохидрогеотермалните појави кои ги порано опишавме. Меѓу нив се најзначајни: "Здравевци", "Вруќа Вода" и "Кисела Вода" во р. Повишница, "Гоцева Чешма" покрај Кратовска Река (кај Здравчи Камен) и "Скок" во с. Г. Куклица. Сите овие извори имаат мала издашност (под или околу 1-2 l/s), што се резултат на самозачепување на доводните патишта со различни минерални материји (најчесто бигор), кои ги содржи термоминералната вода која потекнува од колекторот на геотермалниот систем "Здравевци".

На сите спомнати појави, односно извори, термоминералната вода истечува "нормално" - без забележливи турбулентни манифестации кои би укажувале на хидраулични притисок на подземната вода, кој би можел да се очекува со оглед на градбата на геотермален систем "Здравевци", а и поради знатната содржина на CO<sub>2</sub> во овие води. Објаснувањато за ваквата состојба се долги, а со тоа и полузачепени патишта, кои со тоа можат да бидат на знатни растојанија од примарниот колектор.

Во истражните дупнатини, меѓутоа, хидрауличките притисоци можат да бидат значителни, што е особено видно кај истражната дупнатина ZD-3. Со оглед на тоа што на оваа истражна дупнатина, поради несолидноста и несериозноста на изведувачот не е извршена цементација, ниту потполно заптивање, па и денеска немаме ниту приближно точни податоци за возможен хидраулички притисок на хидрогеотермален флуид во оваа дупнатина, за да би можеле макар приближно да прогнозираме какви притисоци би можеле да се очекуваат во истражните бушотини кои би се издупчиле до примарниот колектор, потребни се санација и цеменација на ова дупнатина. Меѓутоа, податокот дека десетина дена по првата ерупцијана термоминерална вода од ZD-3, висина на "водоскок" од неа изнесуваше 7 - 8 метри ни дава за право да цениме дека хидраулички притисоци во истражните дупнатини кои би се дупчеле до примарниот колектор можат да изнесуваат од десетина, а можеби и повеќе бари.

Инаку, податокот дека од истражната дупнатина ZD-3 веќе неколку години слободно истечува или пак се користи како вода за пиење од неа до сега истекле преку 900 милиони m<sup>3</sup> вода со температура од 46 - 46°C, без видливи намалувања во дотокот, иако што се поради слаба заптивеност на влезниот дел на дупнатината знатна количина на вода се губи во алувионот, сам за себе зборува и за можни големи димензии на примарниот колектор.

## 16.7 Терестички топлотен ток

Терестичкиот топлотен ток е еден од значајните параметри кои би требало да се определи во текот на истражувањето на топлотното поле на определените делови од земјината кора, затоа што е тој еден од главните предуслови за формирање на значајните ресурси на геотермалната енергија.

Со оглед на тоа, што ние денеска сеуште не располагаме со доволен број на мерења односно егзанти податоци за поконкретни заклучоци во поглед на терестичкиот топлотен ток за просторот на северен и СИ дел од Кратовско-Злетовската област, ќе се послужиме со општите податоци кои ги дава Миливојевиќ на својата "Прва прелиминарна карта подручја Србије, Црне Горе и Македоније". Спрема авторот, оваа карта (е сл. на следната страна), работена е со методата на анализа на температурните мерења во истражните бушотини со длабина преку 700 m.

Не влегувајќи во поединости, видливо е дека подрачјето на СИ дел од Република Македонија има изразени големи вредности на топлотниот ток ( $110 \text{ mWm}^{-2}$ ), со оглед на тоа што на пример, просечните вредности на топлотниот ток за континентални дел од Европа изнесуваат само околу  $60 \text{ mWm}^{-2}$ .

Резултатите на истражувањето кои се добиени во последните децении посебно на просторите на Источна Македонија, очигледно ги потврдуваат прогнозите на Миливојевиќ за првата прелиминарна карта на овој дел од Балканскиот Полуостров. Со досегашните истражувања во Европа и светот воочени се регионалните законитости и корелации на вредностите на топлотниот ток со дебелина на земјината кора, на нејзината стабилност, тектонскиот склоп и староста на тектонските активности, на магматската активност, сеизмичноста итн. За некои аспекти од наведените елементи и законитости во овој простор веќе зборувавме. Овде додавме дека на високите вредности на топлотниот ток во овие простори, покрај магматизмот, секако е и дебелината и составот на земјината кора, содржината на радиоактивните елементи во карпите и сеизмичката активност.

Врз основа на резултатите на длабоко сеизмичко сондирање, за овој простор прогнозирана е длабина до Мохоровичиевиот дисконтинуитет (Мохо слој) од 30 - 35 km, што со оглед на високите вредности на геотермалниот градиент кои се констатирани, може да се земе како логично подударање, земајќи ги во предвид, секако и другите можни влијанија (пред се на тн. "високи плутони", млад вуланизам, "главна тектонска линија" и др.).

Инаку теоретски и практично е разјаснето дека дебелината и состав на земјината кора директно влиаат на вредностите на топлотниот ток и дека високите вредности на топлотниот ток се типични за областите со тенка кора, какви се и граничните простори на "Српско-Македонската маса и Вардарската зона. Што се однесува до сеизмичката активност, ние за сега не располагаме со никакви поегзактни податоци за нејзиното можно директно влиание на геотермалната потенцијалност на овој простор. Во литературата, можат да се сретнат воопштени повеќе теоретски мислења во тој поглед, но практични

потврди за тоа сеуште не се изнесени. Извесно е само дека е на инженерско-геолошка карта на Р. Македонија, 1:200.000 (со реонизација на теренот по стабилност и сеизмичност), овој простор сврстен меѓу оние кај кои сеизмичкиот интензитет се "движи" помеѓу 6° и 7° на MCS.

Слична е состојба и со оценка на неотектонските движења во овие простори. Постојат логични заклучоци (повеќе теоретски) бидејќи тие и денеска се присутни во овие простори, што секако има логика со оглед на тоа што се работи за еден тектонски лабилен простор (на граница помеѓу Српско-Македонска маса и Вардарската зона). Меѓутоа, практични потврди во овој правец, допрва би требало да се приберат во идните истражувања од овој вид.

## **17.0 ПОТЕКЛО И СТАРОСТ НА ТЕРМОМИНЕРАЛНИТЕ ВОДИ**

Како што веќе споменавме, потеклото на термоминералните води кои се акумулирани во колекторот на геотермалниот систем Здравевци, без сомнение е метеорско. За поблиска оценка на можните зони на прихранувањето, нивните апсолутни височини, карактерот на средината која претставува транзитни патишта на водата и др. потребни се соодветни изотопски испитувања. Поради недостиг на финансиските средства и високи цени на изотопските анализи, до сега не се вршени воопшто вакви испитувања на водата од геотермалниот систем Здравевци, поради што останува тоа во иднина што порано да се стори. Исто тоа може да се рече и за староста на водите на геотермалниот систем Здравевци. Меѓутоа, хемискиот состав на повеќе примероци од овие води, индиректно укажува на тоа, дека овде можат да се очекуваат и хидрогеотермални флуиди со повеќедецениска, а можеби и многу поголема старост. Особено ќе биде интересно во иднина да се испита и можните изолирани акумулации на хидрогеотермални флуиди со можната многу голема старост. Инаку, постарите и многу стари палеохидрогеотермални појави, како што се делумно оние во рамките на Туралевскиот Кратер, можат, како што веќе спомнавме, да имаат металогенетско, па и економско значење, поради тоа што во обемот на карпестите маси на овие појави многу често се наоѓаат епитермални наоѓалишта на метали.

## **18.0 ПРЕСМЕТКА НА РЕЗЕРВИТЕ НА ХИДРОГЕОТЕРМАЛНИТЕ ФЛУИДИ**

Поимот наоѓалиште на геотермална енергија, или поконкретно, во нашиот случај, наоѓалиште на хидрогеотермални флуиди денеска кај нас и во светот различно се дефинира.

Со оглед на тоа, што слободните подземни води, без оглед дали се ладни или топли, кај нас од 1975 година се сметаат како минерални ресурси, потребно е да се нагласи битна разлика меѓу другите видови на минерални ресурси и геотермалните ресурси, а тоа е: дека фосилните минерални сировини се исцрпливи и необновливи, додека геотермалните ресурси се обновливи.

Поаѓајќи од фактот дека основен носител на геотермална енергија е терестичен топлотен ток, кој е усмерен од земјината внатрешност кон нејзината површина, Перик и Миливојевиќ ја предложија следната дефиниција на тој поим: Наоѓалишта на геотермалната енергија се природни акумулации на топлината во земјината кора, кои настанале во текот на геолошкото време, во обемот на распространувањето на позитивни аномалии на топлотниот ток.

Со оглед на сеуште доста низок степен на истраженост, ние денеска не располагаме со доволен број на податоци за да би вршеле оценка и на литогеотермални ресурси во рамките на геотермалниот систем "Здравевци", но цениме дека перспективните за нив во овој простор се големи.

Меѓутоа, без оглед на тоа што степенот на истраженоста и познавањето на хидрогеотермалните ресурси на геотермалниот систем "Здравевци" е сеуште недоволен за оценка и пресметка на резервите од повисоките категории, посебно на можните експлоатациони резерви нив сепак имаме доволно аргументи да дадеме макар глобална оценка на можните статички (геолошки) резерви на геотермалните флуиди во геотермалниот систем "Здравевци", но и доста сигурна пресметка на мал дел од неговите динамички резерви. Што се однесува до класификацијата и категоризацијата на резервите, ќе настојуваме да се користиме со одредбите на "Правилник за класификација и категоризација на резервите на подземни води и за водење на евиденција за нив" (сл. лист на СФРЈ, бр. 34 од 20 јули 1979 год.), иако тој не ги третира сите специфичности на наоѓалиштата на хидрогеотермални флуиди. За оценка и пресметка на статичките (геолошките) резерви на хидрогеотермалните флуиди во геотермалниот систем "Здравевци", ние, заради поголема сигурност, зедовме помали вредности за некои основни параметри. Тоа особено се однесува на простирањето на наоѓалиштето ( $150 \text{ km}^2$ ) и ефективната порозност на карпите кои го изградуваат примарниот колектор (1%). Ова пресметка односно оценка, ја вршиме користејќи ја запреминската метода, која е најпогодна за оваа цел. Како влезни параметри за оценка, ги зедовме следните:

1	Пространство на наоѓалиштето (A)	$150 \text{ km}^2$
2	Просечна дебелина на колекторот ( $\Delta Z$ )	900 m
3	Излезна температура на геотер. флуид од колекторот ( $T_o$ )	$50^\circ \text{C}$
4	Проценета ефективна порозност на колекторот (P)	0,01 (1%)
5	Густина на карпите во колекторот ( $\rho_k$ )	$2250 \text{ ng/m}^3$
6	Густина на водата во водонос. слој ( $\rho_v$ )	$1000 \text{ kg/m}^3$
7	Специфична топлина на водонос. карпи ( $C_k$ )	$840 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
8	Специфична топлина на водата ( $C_v$ )	$4.200 \text{ J/kg}$
9	Температура на карпите во водон.колектор ( $T_v$ )	$120^\circ\text{C}$
10	Фактор на искористување ( $\xi$ )	0,1

Врз основа на вкупните согледувања за хидрогеотермалната потенцијалност на овој простор, а кои се на извесен начин делумно сублимирани во прелиминарниот прогнозен модел на геотермалниот систем "Здравевци", статички (геолошки) резерви на хидрогеотермалниот флуид се следните:

$$Q_{st} = P \cdot d \cdot m, \text{ каде е}$$

$Q_{st}$  = количина на статички (геолошки) резерви,  $m^3$

$P$  = површина на распространението на колекторот,  $km^2$

$d$  = просечна дебелина на колекторот,  $km$

$m$  = просечна ефективна порозност во колекторот 1 %)

$$Q_{st} = v \cdot m$$

$$Q_{st} = 150 \times 0,9 \times 0,01 = 1,35 \times 10^9 m^3$$

За пресметка на вистински возможни количини на динамички резерви, ние денеска не располагаме со доволен број на егзактни податоци кои, како што е познато, можат да се приберат воглавно од поголем број на структурните истражни дупнатини и/или експлоатационите бунари кои би требало делумно да го сечат примарниот колектор.

Со оглед на претходното овде ќе ги прикажеме само оние сигурни динамични резерви кои со самоизлив и неколку години истекнуваат од истрашната бушотина ZD - 3, а со дотокот (12 l/s) битно не се намалуваат.

Што се однесува до температурата на термоминералната вода од оваа дупнатина, на устата на дупнатината "стабилно" движи помеѓу 47 и 49°C поради мешање со водите на р. Повишница, што значи дека во местото на дотокот во дупнатината водата има стабилен температура од 51°C. Сметаме дека овие два параметра (стабилен доток и температура) се своевиден егзактен тест за пресметка на минимални количини на динамички резерви:

$$Q_{din(dn)} = 86400 \times 12 = 1,037 m^3 / \text{дневно, или}$$

$$Q_{din(god)} = 1.037 \times 365 = 378.400 m^3 / \text{год. или}$$

$$3,78 \times 10^5 m^3 / \text{год.}$$

Секако дека овие минимални количини на резерви можат битно да се зголемат веќе со санација на истрашната дупнатина ZD - 3, кога би можеле да се сметаат и како експлоатациони.

Сосема е извесна и реална оцената дека динамичките количини на резерви на геотермалниот флуид од геотермалниот систем "Здравевци" можат да бидат и десетина пати поголеми, а возможно и неколку десетина пати, со далеку поголеми температури.

Со оглед на степенот на истраженост, мислиме дека пресметаните количини на статички резерви би можеле за сега да се воврстат во С категорија, а пресметаните минимални количини на динамички резерви во В категорија.

За оцена на геотермалната потенцијалност на геотермалниот систем "Здравевци", или поточно потенцијалност само на геотермалните флуиди, овде преку соодветни формули ќе ги прикажеме и еквивалентни количини на енергијата изразени преку еквивалентна количина на нафта.

Со таа цел, во праксата се најчесто користи тн. волуметриската метода за пресметка на количината на топлинската енергија во геотермалните системи (Muffler, Cataldi, R., 1978, Methods for regional assesment of geotherraal resources. Формулата е дадена во следниот облик:

$$E = [(1-p) \times \rho_k \times C_k + p \times \rho_v \times C_v] \times (T_v - T_o) \times A \times \Delta Z \times \xi / J$$

Каде важат ознаките дадени во табелата приложена на страна 109.

Спрема тоа, имаме:

$$E = [(1-0.01) \times 2250 \times 840 + 0.01 \times 1000 \times 4200] (120-50) \times 1.5 \times 10^8 \times 900 \times 0.1$$
$$E = 20,436 \times 10^{17} \text{ J} = 4,88 \times 10^{17} \text{ calorii} = 49,046 \times 10^6 \text{ TEP}$$
$$(1 \text{ J} = 2.4 \cdot 10^{-11} \text{ TEP (тони нафта)})$$

Спрема тоа, вкупната топлинска енергија акумулирана во вид на топли хидрогеотермални флуиди во геотермалниот систем "Здравевци" еднаква е на сса 49 милиони тони екв. нафта.

Овоа е прва оцена и прогнозна количина на енергијата која ја можно ја содржат хидрогеотермалните флуиди во геотермалниот систем "Здравевци" а која овде ја прикажуваме со намера да укажеме на можната голема геотермална потенцијалност на овој простор.

## 19.0 МОЖНОСТИ ЗА КОРИСТЕЊЕ НА ГЕОТЕРМАЛНАТА ЕНЕРГИЈА ОД ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ "ЗДРАВЕВЦИ"

Потенцијалите на геотермалната енергија се многу големи, така таа се смета како обновлива, иако по својата суштина таа е необновлива. За големината на тие потенцијали најдобро зборува самата работа дека акумулираната топлина во земјината обвивка е толкава да смалувањето на температурата на земјината кора за само 0,1°C овозможува доволно енергија да се снабдува целиот свет со електрична енергија на сегашно ниво на потрошувачка во наредните 15000 години.

Геотермалната енергија има и ќе има се поголемо значење. Иако е позната веќе 1000 години, во прв ред за балнеолошки потреби, со развојот на длабинското дупчење во почетокот на овој век е започнато нејзино поголемо енергетско користење.

За да се дефинираат резервите потребно е да се одредат можностите за економично користење на геотермалната енергија, а тоа денес е можно за производство на топлотна и електрична енергија.

Денес геотермалната енергија интензивно се користи за топлотни потреби во голем број на земји во светот. Геотермалната енергија за топлотните потреби се користи во земјоделството, туризмот, комуналните работи, домаќинствата, индустријата и др., по пат на два основни начини на користење: директно и индиректно користење на геотермалната енергија. Иако системите со директно користење се многу по едноставни и економски по погодни, нивните можности се релативно ограничени, бидејќи геотермалните флуиди со поволни физичко-хемиски особини и висока температура се релативно ретки. Значајно се распространети високотемпературните минерализирани флуиди кои од економски причини можат само да се користат по пат на топлотни шеми со индиректно користење, каде предавањето на топлината се врши со разменување на топлината, а искористените флуиди со помош на инјекциона дупнатина се враќа во лежиштето. На основа на досегашните искуства во експлоатацијата на геотермалните топлотни системи во многу земји од светот, единечната цена на топлината е често пониска отколку во системите кои користат конвенционални горива, тоа се истовремено резерви на геотермална енергија. Денеска геотермалната енергија, по хидроенергијата како класичен обновлив извор, од сите нови и обновливи извори на енергија е најзначаен произведувач на електрична енергија во светски размери.

За многу земји големо значење има развојот на геоелектраните по пат на бинарен циклус, каде се користат термалните води со релативно нисок потенцијал, од 70 до 150°C.

Без оглед што денешниот инсталационен капацитет претставува околу 1% од вкупниот инсталационен електроенергетски капацитет, во многу земји производството на геоелектрична енергија претставува значаен дел од вкупното производство на електрична енергија. Значаен податок е дека во некои геоелектрани со поголем капацитет (преку 100MW) електрична енергија се произведува по цена често пониска од цената во класичните термоелектрани. Од позначајните неелектрични употреби на геотермалната енергија се издвојуваат:

Капење во топли извори и бањи (Балнеологија): Со векови, топлите извори на геотермална енергија се користеле за готвење и капење.

Агрокултура: Геотермалните ресурси се користат широко во светот за агрокултурна продукција. Водата од геотермалните резервоари се користи за затоплување на оранжериите, за побрзо цветање на цвеќиња, зеленчук и други култури. Аквакултура: Геотермалната аквакултура, „обработка“ на вода – живи суштества, се користи природно топла вода за да се забрза растењето на рибите, мекотелите, влечугите и водоземците. Ваков начин на директна употреба ја зголемува популацијата.

Индустрија: Топлината од геотермалните води се користи широко за индустриски цели. Некои од овие употреби вклучуваат сушење на риба, овошје, зеленчук и дрвени производи, миење на волна, мануфактурирање хартија и пастерзирање на млеко. Геотермалните топли води можат да се транспортираат до тротоарите и патиштата за да не замрзнуваат зимно време.



Термалните води се користат и за помош при екстрактирање на злато или сребро од метали и дури за ладење и правење на мраз.

Греење/Квартално греење: Најстарата и најупотребувана употреба на геотермалната енергија, настрана од капењето во топли извори, е за затоплување на згради и понекогаш внатрешни комерцијални и резидентални квартави. Геотермалните квартални системи за греење се снабдуваат со топлина преку испумпување на геотермалните води – обично 60°C или потопли, од еден или повеќе бунари издупчени во геотермалните резервоари. Геотермалната вода минува низ менувач на топлина што ја трансформира топлината во вода во сепаративните цевки што ја пумпаат до зградите. По минувањето низ менувачот на топлина, геотермалната вода се инјектира назад во резервоарот каде може повтроно да се загрее и да се користи. Како што оваа енергија е чиста и економична, таа се користи за загревање на згради, а геотермалното квартално греење станува се по популарно во многу земји.

Во овој степен на истраженоста на геотермалниот систем "Здравевци", прерано е да се зборува за можностите на практичното користење на геотермалната енергија од него.

Меѓутоа, постојат реални можности за натамошни откривања на нови многу значајни геотермални ресурси, како хидрогеотермални, така и петрогеотермални во просторот помеѓу Кратово на исток и реката Пчиња на запад. Од таа причина, сметаме, дека во иднина при истражувањето на геотермалниот систем "Здравевци" внимание треба да се посвети на широките можности за користење на геотермалната енергија од него, особено на геотермалните флуиди, чии количини се големи и високи температури и истите можат да се прогнозираат со релативно висока сигурност.

Постојат неколку видови за користење на геотермалната енергија, но ние ќе се задржиме само на некои од нив за кои сметаме дека можат да имаат посебно значење за Кратовско, па и многу пошироко:

Користење на геотермалната енергија за спорт, рекреацијата и посебно за балнеолошките цели, денеска сосема реално е присутна можноста со директно користење на топлата вода од истражната дупнатица ZD - 3 во реката Повишница. Потребно е ова истражна дупнатица да се прошири, да се изврши нејзина цементација, затварање со соодветни вентили и да се размислува за помали инвестиции во објекти кои би им служеле на луѓето кои овде неколку три години наоѓаат лек за своите различни здравствени тешкотии.

За можната терапевтска вредност на оваа термоминерална вода, не е потребно посебно да се зборува, бидејќи за тоа е доволно стручното мислење на балнеолозите од меѓународниот Институт за рехабилитација од Белград. Користење на геотермалната енергија од геотермалниот систем "Здравевци" за топлификација на станбени и други објекти во Кратово, како и на индустриските објекти на РИК "Силекс" и други индустриски објекти во Кратово. За ваквата примена може да се зборува поконкретно дури по дупчењето на првите подлабоки истражни дупнатини (и бунари), кои би требало да се издупчат до подлабоките делови на примарниот колектор на

хидрогеотермалниот систем "Здравевци". Денешната прелиминарна оценка за потребната длабина до која би се дупчеле тие истражни дупнатини е минимално 1.500, а максимално 2.000 m.

Постојат многубројни примери во светот за успешното користење на енергијата на геотермалните флуиди за ваквите цели (Исланд, Н. Зеланд, Јапонија, Русија, САД, Франција, Германија, Унгарија, Бугарија, Филипини и др.), а првите чекори во тој правец се направени и во Република Македонија (загревање на бањските објекти и хотелот "Цар Самоил" во Струмица и за централно греење на дел од градот Кочани).

Користење на геотермалната енергија во земјоделието, има голема примена од причина што можностите во тој правец се многубројни. Предностите се состојат во тоа што за оваа цел можат да се користат и термалните води со релативно ниски температури (од 20°C и поголеми), а за тоа можат да се користат и водите кои еднаш или повеќе пати "степенасто" се користени.

За користење на геотермалната енергија за оваа намена денеска постојат голем број примери во светот, а познати се и повеќе примери во Р. Македонија (загревање на стакленици во Гевгелиско, Струмичко, Кочанско, Виничко). Интересен е податокот дека во светот се почести се случаи каде во земјоделското производство од геотермалните ресурси се користи топлината, водата и CO<sub>2</sub> поединечно или комбинирано, при што се постигнуваат значително поголеми приноси, производство се одвива во текот на целата година, при што разни штетни болести на културите од инсектите и мразот можат потполно да се елиминираат. Со додавањето на CO<sub>2</sub> во стаклениците, приносите се зголемуваат од 50 - 80%, а како што знаеме термоминералниот флуид "Здравевци" содржи, скоро една четвртина на CO<sub>2</sub> од вкупниот волумен. Исто така многубројни се примерите во светот за користење на термалните води со ниски температури (под 25°C) за греење на риби, при што се постигнуваат "приноси" повеќе десетици пати од оние во природните услови во реките или езерата, но и квалитетот на рибата повеќекратно е подобар. Користење на геотермалната енергија во индустријата, во светот практично сенојдневно е се поголемо и поразноврсно. Во индустриските процеси геотермалната енергија најчесто се користи во топлотните процеси како што се: сушењето, дестилацијата, ладењето, одледувањето и др.

Овде е значајно да се спомне дека во многуте геотермални флуиди поради нивната висока температура постојат растворени и концентрирани различни минерални материи од кои многу можат да се издвојат и користат во различни цели како на пример: бор, хлор, магнезиум, јаглен диоксид, бром, јод, стронциум, калиум, водород сулфид, жива, железо и др.

Спрема некои понови податоци, најголемо практично користење на геотермалната енергија во светот се врши за производство на електричната енергија (околу 33%). Од 1950 година технологијата на ова поле многу брзо напредувала, така што веќе во 1980 година инсталираната снага на геотермоелектраните изнесувала околу 2.000 MW. Во последниве години извесно е да се бројот на ваквите електрани и инсталираната снага во нив за

се зголемува со геометриската прогресија, особено во САД, Италија, Н. Зеланд, Јапонија, Мексико, Ел Салвадор, Исланд, Филипини, Русија и Турција. За производство на електрична енергија во овие геотермоелектрани се користат природните геотермални флуиди.

Од особено значење е добивање на геотермалната енергија од суви врели каепи (Hot Dry Rock), со користење на геотермален котел, кое нешто во последните години добива се поголемо значење и замав во светот.

Зафаќањето на геотермалната енергија се врши со помош на дупчење бунари, при што досега се разработени системи на еден или два дупчени бунари. Не влегувајќи во поединости, треба да се истакне дека во просторот кој го дефиниравме како геотермален систем "Здравевци", постојат доста поволни услови за истражување и откривање и на суви врели карпи, односно петрогеотермална енергија. Како што веќе истакнавме, тоа се оние простори кои на прогнозниот модел ги означивме како гранодиоритски "високи плутони", односно некогашните вулкански огништа. Нивното истражување би требало да биде прва наредна фаза по истражувањето на ресурсите на хидрогеотермалните флуиди во овие простори.

При користењето на геотермалната енергија особено од геотермалните флуиди со пониски температури (а и "обични" подземни води), денеска во светот огромна и се поширока примена имаат топлотните пумпи. Во принцип топлотните пумпи можат да ја користат топлината на сите видови на подземни води чија температура е еднаква или поголема од средната годишна температура на воздухот во соодветното подрачје.

Денеска се применуваат два система на топлотни пумпи за подземна вода. Првиот систем ја зема подземната вода од еден бунар и кога температура на водата се подигне до саканото ниво, водата се користи за затоплување или како потрошна вода. Другиот систем ја зема од подземните води само топлината, а разладената вода се враќа одново во земјата (повратна топлотна пумпа). За овој систем потребни се два копани или дупчени бунари, при што едниот служи за зафаќање на подземната вода, а другиот за наливање на вода повторно во земјата, кога од неа се одзема топлината. Системот на повратни топлотни пумпи за подземна вода денеска има особено голема примена кога во зима се користи за греење, а преку летото за разладување. Поради своите специфични хемиски и физички карактеристики минералната вода од истражната геотермална дупнатина ZD - 3 од локалитетот Здравевци може да се користи балнеолошки цели, како дополнително средство за лекување во рамките на медицинска рехабилитација.

Во медицински цели можат да се лечат следените заболувања: Локомоторен апарат (*Реуматоиден артритис-фаза на смирено воспаление на зглобовите; Бехтеријева болест-почетен стадиум; Дегенеративен реуматизам-артроза и спондилоза; Екстраартикуларен реуматизам - фиброзитис, миозитис, паникулитис, тендинитис; Состојби после фрактури на коски и хируршки интервенции на коскено-зглобните системи*), Кожни болести (*Псоријаза и*

*Хроничен екзем), Гинеколошки заболувања (Воспалителни процеси во смирена состојба-аднехитис, параметритис; Некои облици на стерилитет – воспалително и ендикрино потекло), во Балнеолошки цели (хронично заболување на желудникот, хронично заболување на црниот дроб и жолчните патишта, состојба по одстранување на камен во жолчката, песок во мочните канали, лесни облици на шеќерна болест).*

## **20.0 ПЕРСПЕКТИВНОСТ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ “ЗДРАВЕВЦИ”**

Геотермалниот систем "Здравевци", откриен е скоро пред 22 години. Нешто поинтензивни геотермални и пратечки истражувања, овде се вршени во првите 3-4 години, кога за тоа се издвојувани и нешто позначајни финансиски средства. Во последните години, и покрај тоа што финансирањето на овие истражувања речиси целосно "пресуши", еден мал тим на геолози и геофизичари, инспириран од големината и значењето на ова откритие, упорно без прекин се до денес работи на прибирање на нови значајни податоци за овој геотермален систем. Притоа, освен сопствените новоколектирани податоци од истражувањата (воглавно од геофизичките мерења и од плитките истражни дупнатини), за целите на документирање и разјаснување на геотермалните прилики, користени се и поранешни податоци од истражувањата на други видови на минерални сировини, а и многубројни податоци на други истражувачи кои работеле на овие терени.

И покрај релативно скроман обем на наменски геотермални истражувања, се располага со значаен број на релевантни податоци, врз основа на кои за сега сепак не може да се даде посериозна оценка на можната економска вредност на геотермалниот систем "Здравевци", но сепак може да даде прогноза за тоа какви резултати можат да се очекуваат од идните детални истражувања, особено во неговите подлабоки делови. Кон тоа оди и прилог што располагаме со прогнозни податоци за просторната положба на геотермалниот систем "Здравевци", за неговите приближни димензии во просторот и, што е особено од значење, за положбата и димензиите на неговиот колектор и на грејното тело. За да се потенцира можната економска вредност на геотермалниот систем "Здравевци", добро е врз основа на резултатите од досега скромниот физички обем на истражните работи, се прикажува прва оценка на можната енергетска вредност на хидрогеотермалните флуиди во него (а врз основа на досега регистрирани првични - индикативни температури). Така, во овој геотермален систем пресметани се статички резерви на хидрогеотермалните флуиди од  $1,35 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  (со просечна порозност во колекторот од 1%) и  $3,78 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  динамички резерви (со доток на само 12 l/s и температура 50 °C), а врз основа на што е пресметана количината на геотермална енергија од  $9,5 \cdot 10^6 \text{ MJ/год.}$ , што одговара на топлинската моќ од 3,0 MWt. Оваа количина на тополинската енергија може, на пример, да биде супституција на 11.300 тони јаглен/год. Од друга страна, оценето е дека количината на топлинската енергија која ја содржат хидрогеотермалните флуиди во геотермалниот систем

"Здравевци" (во статичките резерви), со претпоставената температура од само 120 °C, приближно е еднаква на топлинската енергија која може да се добие од околу 50 милиони тони нафта.

Не е потребно да се истакнува за кои количини на топлинска енергија би можело да се зборува, доколку би се докажало дека во колекторот на геотермалниот систем "Здравевци" владеат температури и преку 200 °C, што е, впрочем, и нашата основна претпоставка. Таа може да се провери и докаже единствено со подетални истражувања, чие единствено успешно финале претставува дупчење на подлабоки и длабоки истражни и/или истражно експлоатациони дупнатини.

За состојбата и перспективите на геотермалната енергија во Р. Македонија, пишувале досега доста голем број на автори кај нас. Во крајна консеквенца речиси сите се сложуваат во основната констатација, која може накратко да се сведе на една реченица: "Доколку се усвои стратегијата на систематски развој на геотермалниот ресурс, со отварање на детални истраги и програмирано дупчење на поголеми длабочини, нормални во европски размери, реално е да се очекуваат многу повисоки температури и протоци, а со тоа и многукратно наталожување на снагата на енергетскиот ресурс и проширување на можното поле на апликација (воведување на производство на електрична енергија). Убедени сме дека тоа го потврдуваат и очигледните факти во тој поглед кои се прибрани во текот на досегашните истражувања на геотермалниот систем. За жал, обемната аргументација во публикуваните трудови, во поглед на шансите, можностите и перспективите на геотермалната енергија кај нас, сеуште остана само во тесните стручни кругови.

Покрај останатото, причината лежи и во тоа што луѓето и стручните тела кои ја креираат и планираат енергентската политика и развојот на енергетиката кај нас, често немаат ниту основни познавања на можностите кои можат да ги дадат домашните геотермални ресурси, односно тие не располагаат со, за нив, разбирливи информации за тоа, што е тоа геотермална енергија и каква е користа од нејзиното искористување.

Кај нас сеуште не постојат доволно информации во образовниот ситем, дури и во соодветните стручни школи и факултети, за тоа што е тоа геотермална енергија, па дури и за тоа што значи и самиот поим - "геотермална", а да и не зборуваме за нејзиното евентуално спомнување во јавните гласила. Оттаму, не постои ниту информација и во јавноста за тоа какви можни потенцијали на геотермална енергија постојат кај нас. Поради тоа, кај нас само мал број на луѓе знаат дека геотермалните ресурси можат да бидат извори на енергија, а уште помал број знае дека од овој енергетски извор може да се генерира и електричната енергија и дека тоа се прави веќе скоро цел еден век. Освен тоа, кога се зборува за т.н. алтернативни и обновливи видови на енергија, обично се мисли на таква енергија на база на ветер, соларна енергија, енергија на плимата и осеката, макар што е познато дека на база на геотермалната енергија денес во светот се произведуваат повеќе од 8.000 MWt електрична енергија и повеќе од 13.000 MWt кај директно користење на геотермалната

топлина. По некои други процени, тоа изнесува дури преку 80% на енергијата произведена од сите видови на користење на алтернативни извори на енергија. Врз основа на таквата состојба, а и врз основа на трендот на растот на примената на геотермалната енергија во Светот во последните триесетина години (просечно 15% годишно), Lund, предвидува дека со натамошниот развој на геотермијата во светот, во 2010 година ќе бидат инсталирани вкупни капацитети за производство на електрична енергија од 32.250 MWt и околу 70.000 MWt за тн. директно користење.

Со оглед на реалната прогноза за постепен, но постојан пораст на цените на класичните енергенти (нафта, гас, јаглен), во наредните години, а со оглед и на растот на општата, а особено еколошката свест за предностите на користењето на геотермалните извори на енергија, извесно е дека најмалку толкав пораст ќе се реализира.

Со оглед на скоро потполната стагнација на развојот на користењето на геотермалните потенцијали кај нас, а особено на геолошко-геотермалните истражувања на нови геотермални ресурси, очигледно е дека е крајно време да се започне одлучна акција за менување на сегашната состојба, макар и со бавни чекори, затоа што за тоа може брзо да се стори поволна клима, а со добрата организација и можни поволни услови.

За почеток, неопходно е да се изготви макар еден општ стратешки концепт за развојот на користењето на нашите геотермални потенцијали и за геолошко-геотермални систематски доистражувања и истражувања на нивните нови количини, особено на оние со повисока температура.

Условите за откривање на нови, особено високотемпературни хидро-геотермални и петрогеотермални (литогеотермални) ресурси кај нас, особено се поволни во просторите на Источна Македонија, и особено во и околу простирањето на "Главната раседна линија (линеамент) на Балканскиот Полуостров". Поради тоа, една ефективна истражувачка стратегија би требало да се создаде и форсира за овие перспективни простори.

## 21.0 ЗАКЛУЧОК

Со оглед на се произразената дефицитарност на класичните енергенти, кои се исцрпливи и необновливи, како и нивната се поголема потрошувачка во светот и кај нас, во последните децении изразено е актуелизирано пронаоѓање и користење на нови обновливи неконвекционални извори на енергија, каква е и геотермалната енергија.

Геотермалната енергија како обновлив и практично неисцрпен вид на енергија, претставува перспективна, покрај енергијата на Сонцето, најзначаен меѓу алтернативните видови на енергија, која во иднина треба постепено да ги заменува класичните енергенти.

Досегашните искуства во истражувањето на геотермалната енергија во светот и кај нас, покажуваат дека е потребен мултидисциплинарен пристап кон нивното програмирање, истражување, експлоатација и заштита. Само со спроведување на долготрајни, сложени и фазни истражувања можно е ризикот на истражувањето да се сведе на најмала можна мера и да се обезбеди рационално и побрзо користење на геотермална енергија.

Со геотермалните истражувања кои во последните неколку години се реализирани на теренот западно од Кратово (во рамките на геотермалниот систем Здравевци), со релативно скроман обем на истражните работи, постигнати се извонредни резултати, кои можат да послужат како солидна основа за програмирање и проектирање на идни подетални истражувања кои пак за релативно кратко време можат да обезбедат рационално користење на енергијата на хидрогеотермалните флуиди, а веројатно покасно и на неисцрпни петрогеотермални потенцијали од овој простор.

Во рамките на просторот на распространението на геотермалниот систем Здравевци присутни се многу сложени литостратиграфски геоструктурни односи, чие натамошно подетално истражување бара макотрпна и упорна работа, но и чие разјаснување може да има големо значење за откривање на огромни резерви како на хидротермална така и на петрогеотермална енергија.

За големата геотермална потенцијалност на овие простори, зборуваат повеќе значајни индикации меѓу кои се најзначајни; присуство на млад терциерен вулканизам, кој, по се изгледа, длабоко влегува и во квартал, појавата на голем број на палеохидрогеотермални и современи хидрогеотермални појави, нивниот состав и хемизам, со редовно присуство на големи количини на  $\text{CO}_2$ , присуство на млади гранодиоритски интрузии, чии апикални делови се, наоѓаат на длабина помали и од 2km, а кои сеуште не се оладени, со постоење на маркантна длабинска зона од регионален карактер (Главна раседна линија на Балканскиот Полуостров), која е причината за долготрајната вулканска активност на овој простор, постоење на други помлади раседи и раседни зони кои се често меѓусебно вкрстуваат, постоење на големи маси на карбонатни



творевини од различна геолошка старост, кои го изградуваат примарниот колектор и др.

Геотермалниот систем Здравевци тесно е врзан за просторната положба, генезата и еволуцијата на основен структурен облик на овој простор – за Криворечка синклинала, која претставува една вулканско – тектонска депресија, со генерално протегање по правец СЗ – ЈИ. Главната причина за формирањето на Криворечката синклинала е, без сомнение, постепеното тонење на различни по состав метаморфни и седиментни, покасно и вулканогено – седиментни и вулкански творевини, како последица на празнење на низа на вулкански огништа, кои беа линеарно поредени долж регионална главна раседна линија на Балканскиот Полуостров.

Гранодиоритските интрузии чие втиснување консолидација во овој простор се вршело во релативно долго време (од крајот на еоцен до почетокот на квартал), а кои со тоа имаат најверојатно голема површина и запремина, донеле со себе одромна количина на топлина. Поаѓајќи од теоретските претпоставки, а и практични изучувања на многу автори во светот, кои изучувале гранодиоритски интрузии со пречник до 10 km (каков е изгледа и овој во просторот на распространението на геотермалниот систем Здравевци), а кои имале почетна температура од 600 – 800°C, можна е претпоставка дека тие денеска во длабина имаат температура од 200 – 400°C.

Иако со изотопските испитувања до сега не е одредено потеклото на CO<sub>2</sub> (преку  $\delta^{13}\text{C}$ ) во хидрогеотермалниот систем Здравевци, извесно е дека тој потекнува од длабоките делови на земјината кора и дека во најголем дел настанал како резултат на термичкото разлагање на карбонатните карпи под влијание на високотемпературни грејни тела во овој простор.

Впрочем ваквото потекло на CO<sub>2</sub> докажано е од страна на многу автори во слични геотермални системи во светот, каде е утврдено дека CO<sub>2</sub> од ваквите води, настанува поради термичко – хидролитичко распаѓање на мермерите.

Хемиските геотермометри, чии вредности ги пресметавме преку содржината на поедините растворени компоненти во термоминералните води од геотермалниот систем Здравевци укажуваат на можни екстра високи температури на хидрогеотермалните флуиди во примарниот колектор. Поради високата содржина на CO<sub>2</sub>, која може да влијае на зголемената содржина на поедините растворени компоненти (SiO<sub>2</sub>, K, Na, Ca), цениме дека температурите во длабоките делови на примарниот колектор можат да достигнат и до 150°C.

За прелиминарна пресметка на геотермалната потенцијалност на геотермалниот систем Здравевци, оценивме дека за сега, најпогодна средна температура е од 120°C.

Минералната вода од проучуваниот простор припаѓа во категорија на натриум-калциум-хидрокарбонатни, сулфатно, сулфидни и ниско кисели јаглородни хипертерми, што е видливо и од процентуалното учество на поедините растворени компоненти во нив (изразени во mg/l). Поради ваквиот состав оваа минерална вода има банеолошки и лековити особини. И покрај тоа, таа денес се користи во ограничени количини, само како квалитетна вода за пиење

(Добра Вода). Минералната вода од спомнатата локалност се одликува и со зголемени концентрации на поголем број на компоненти кои најверојатно се продукт на класичните хидротермални системи, локализирани на поголеми длабочини. Од анализите на тешките метали се забележува дека сите се границите на нормални вредности. Посебно внимание заслужуваат зголемените содржини на Sr, Se и As.

Прогнозниот модел на геотермалниот систем Здравевци, направен врз основа на нашите досегашни создавања за литостратиграфска и структурно-геолошка градба на овој простор, треба да се сфати како компилација на сите досегашни сознанија на повеќе автори и да послужи како основа за конципирање на идните сеопфатени подетални истражувања.

Пресметаните количини на статички (геолошки) и динамички резерви на геотермалниот флуид, односно од геотермалниот систем Здравевци, само се почетна добра илустрација за можната хидрогеотермана потенцијалност, на овој простор.

Пресметаните еквивалентни количини на енергија кои ги содржат хидрогеотермалните флуиди во примарниот колектор, а кои изразени преку нафтата изнесуваат 49 милиони тони нафта, и доколку се земе во предвид фактот дека хидрогеотермалните флуиди во геотермалниот систем Здравевци се обновливи, јасно зборува за можната голема геотермална потенцијалност на овие простори.

## 22.0 ЛИТЕРАТУРА

- Arnorsson S. (1983) Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems. Implications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics* Vol 12 No-2/3, 119 - 128.
- Alt, J. C. Laverne, C. and Muehlenbach, K. (1985): *Alteration of the upper oceanic crust: mineralogy and processes in Deep sea Drilling Projects Hole 504B, Leg 83: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. 83, pp.217-247, In: R.N. Anderson, J. Honnorez, and K. Becker, et al. (eds.).
- Аљановиќ, Б., (1967) *Прелиминарна карта дубина Мохоровичиевог дисконтинуитета на подручју Југославије*. Проблематика истраживања ресурса геотермалне енергије са посебним освртом на место и улогу геофизичких метода испитивања – Београд.
- Carres, D. W., Burnet, M. S. and Orcutt, J. A. (1992): *Tomographic image of the axial low-velocity zone at 2°50'N on the East Pacific Rise*: *J. Geophys. Res.* 97B, 9243-9263.
- Collier, J. and Sinha, M., (1990): *Seismic images of a magma chamber beneath the Lau Basin back-arc spreading centre*: *Nature* 346, 318-648.
- Димитријевиќ, Н., (1998): *Хидрохемија*. Изд. Катедра за хидрогеологија при Рударско – Геолошки Факултет Белград. Стр. ...
- Elder, J. (1981): *Geothermal Systems*: New York: Academic Press.
- Ewers, G. R. and Keays, R. R. (1977): *Volatile and precious metal zoning in the Broadlands geothermal field*: *Econ. Geol.* 72, 1337-1354.
- Георгиев, Д., (1989): *Извештај за геотермалните истражувања Тополовиќ – Филиповци – Кратово*. РИК Силекс – Кратово.
- Georgieva, M., (1989): *Chemical' geothermometers and mineral equilibria of some hot waters in Yugoslavia*. UNU Geothermal Training Programme Reykjavik, Iceland.
- Георгиева, М., Георгиев, Д., Ристовски, В., (1990): *Значајот на палеогеотермалните појави во истражувањето на геотермалните води на примерот на Повишница – Кратово*. XII конгрес на геолозите на Југославија. Охрид.
- Георгиева, М., (1995): *Геотермални ресурси во Вардарската зона и Српско – Македонската маса на територијата на Македонија*. Универзитет Св. Кирил и Методиј- Скопје, Рударско-геолошки факултет Штип. Докторска дисертација. 203 стр.
- Harding, A. J. , Orcutt, J. A., Kappus, M. E., Vera, E. E., Mutter, J. C. Buhl, P., Detrick, R. S. and Brocker, T. M. (1989): *Structure of young oceanic crust at 13°N on the East Pacific Rise from spread profiles*: *J. Geophys. Res.* 94B, 12, 163-12196.

- Hayba, D.R. (1983): *Fluid inclusion and isotope data on epithermal deposits*: U. S. Geol. Surv. Open-File Rep. 83-450.
- Hedenquist, J. W. (1990): *The thermal and geochemical structure of the Broadlands-Ohaaki geothermal system, New Zealand*: Geothermics 19, 151-185.
- Karpov, G. A. and Naboko, S. I. (1990): *Metal contents of recent thermal waters, mineral precipitates and hydrothermal alteration in active geothermal fields, Kamchatka*: J. Geochem. Explor. 36, 57-71.
- Krupp, R. E. and Seward, T. M. (1990): *Transport and deposition of metals in the Rotokawa geothermal system, New Zealand*: Mineral. Deposita 25, 73-81.
- Миливојевиќ, М., Периќ, Ј., Симиќ, М., (1990): *Прелиминарни модел хидрогеотермалног система Нишке Бање и Нишке Котлине*. XII конгрес на геолозите на Југославија. Охрид.
- Миливојевиќ, М., (1982) Палеохидрогеотермалне појаве Авале. Београд
- Миливојевиќ, М., (1989) ; Извештај о резултатима истражувања топлотне проводливости узорока стена из истражних бушотина у подручју Кратова и Злетова. РГФ , Група за за хидрогеологију – Београд.
- Muffler, C. R., (1978) : *Methods for regional assessment of geothermal resources*, Geothermics, Vol 7, pp. 53 – 89.
- Polster, W and Barnes, H.L. (1990): *Geothermal systems in sediment-filled rift valleys: Hydrodynamic and geochemical characteristics*: Proc. Fifteenth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., 89-95.
- Polster, W and Barnes, H.L. (1994): *Comparative hydrodynamic and thermal characteristics of sedimentary basins and geothermal systems in sediment-filled rift valleys*: In: *asin Compartments and Seals*, P. Ortoleva (ed.). Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 61, 437-457.
- Pyle, D. M. (1993): *Geochemical hazard indicators*: Nature 362, 787-788.
- Ракиќ, С., Мицевски, Е., Столиќ, Н., 1993: *Елаборат за досегасните геотермални истражувања на теренот западно до Кратово (геотермален систем Здравевци) со пресметка на резервите на хидротермалните флуиди*. Стручен фонд РИК “Силекс” – Кратово
- Ракиќ, С., Мицевски, Е., Столиќ, Н., 1993: *Елаборат за досегасните геотермални ресурси во Република Македонија. Геотермална енергија: Состојби и перспективи во Република Македонија*. МАНУ. Ед. К. Поповски, Скопје.
- Ракиќ, С., Ѓорѓевиќ, Н., Столиќ, Н., 1995: *Геотермална потенцијалност на Кратовско-Злетовската вулканска област. Геотермална енергија: состојба и перспективи во Република Македонија*. МАНУ. Ед. К. Поповски.
- Rakic, S., Stojanov, R., Stolic, N., (1996): *Magmathizam and Geothermal Energys of the Kratovo – Zletovo Volcanic Area. The Formation of the Geologic Framework of Serbia and trhe Adjanced Regiony*. Edd. Faciltis of Mining and Geology, Belgrade.

- Ракиќ, С., Столиќ, Н., 2002: *Геотермален систем Здравевци-Кратовско. Мозни температури во колекторот и грејното тело и перспектива на истражување по длабочина*. Работилница со меѓународно учество.
- Ракиќ, С., Столиќ, Н., (2003); *Геотермални систем Здравевци – Кратово, можните температури во колекторот и грејното тело и перспективи на истражувањето по длабочина – Второ советување за геотермалната енергија во Република Македонија*, Зборник на трудови, Банско, страна. 103 -126.
- Saupé, F. (1990): *Geology of the Almaden mercury deposit, Province of Ciudad Real, Spain*: Econ. Geol. 85, 482-510.
- Serafimovski, T. (2001): *Врската помеѓу геотермалните системи и хидротермалните минарализациони системи*. Прво советување по геотермална енергија во Република Македонија., Банско, Зборник на трудови.
- Simmons, S.F., Brown, R. P. L. and Brathwaite (1992): *Active and Extinct Hydrothermal Systems of the North Island, New Zealand*: T.B. Thompson (ed.). Society of Economic Geologists Guidebook, 15.
- Spasovski, O., Paneva, V., Mircovski, V., Stefanova, V., 2003: *Novi podatoci za hemiskiot sostav na termomineralnata voda od geotermalniot sistem Zdravevci-Kratovsko. Vtoro sovetuvawe po geotermalna energija vo Republika Makedonija, Bansko. Zbornik na trudovi. Str. 73-84.*
- Spasovski, O., Mircovski, V., 2005: *Geochemical characteristics of the thermomineral waters of the Borivic locality, Kratovo (the Republic of Macedonia)*. 14<sup>th</sup> Congress of Geologists of Serbia and Montenegro, Novi Sad.
- Спасовски, О., 2008: *Оценка на економичноста и можни проблеми од користењето на геотермалната енергија*. Македонско рударство и геологија, Бр. 11.
- Спасовски, О., (2010). *Планирање и развоток на проектот за истражување на обновливите енергетски ресурси*. Македонско рударство и геологија, Бр. 15, стр. 16 – 19.
- Спасовски, О., Ефтимов. М., (2010). *Изработка на геотермални дупнатини*. Македонско рударство и геологија, Бр. 17, стр. 20 – 24.
- Spooner, E.T.C. and Fyfe, W. C. (1973): *Sub-seafloor metamorphism, heat and mass transfer. Contr. Mineral. Petrol.* 47, 287-304.
- Stolic, N., (1997): *"Plutonites in the Kratovo – Zletovo Volvanic Area, Cause of geophysical Anomalies"*. Magmatism, Metamorfizam and Metalogeny of the Vardar zone and Serbo – Macedonian Massif. Dojran – Stip.
- Вайт, Д. Е., (1958) *Термалниие источници и епитермалниие рудниие месторожденија*. Проблеми рудних месторожденија: Сборник статей, перевод од англиски (стр. 91-139), Москва.
- Вукашиновиќ, С., (1971) *Опште геоструктурне карактеристике Кратовско-Злетовске еруптивне области, које проистичу из података геофизичких испитувања*. Радови Геоинститута", св. 1, Београд.

- Вучиќ, Д., (1989) *Извештај за геоелектричните испитувања на термоминералната вода "Здравевци" – Кратово*. Стручен фонд на РИК "Силекс" – Кратово.
- Fournier, R. and Truesdell A., (1973 ) An empirical Na-K-La geothermometer for natural water . *Geochim. Cosmoch. Acta*, vol 37,1255-1275
- Fournier, R., (1977) :Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems *Geothermics*, vol, 5, 41 – 50.
- Fouillac C. and Michard G., (1981). Sodium/litium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics*, 10, 55 – 70.